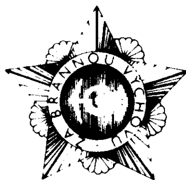
Amatérské RADIO

NOSITEL VYZNAMENÁNÍ ZA BRANNOU VÝCHOVU I. A II. STUPNĚ



ŘADA PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXXVI/1987 ● ● ČÍSLO 2

V TOMTO SEŠITĚ

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51–7. Šéfredaktor ing. Jan Klabal, Redakční radu řídí ing. J. T. Hyan. Redaktor L. Kalousek, OK1FAC. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51–7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs, Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, ústřední expedice a dovoz tisku, závod 01, Kafkova 9, 160 00 Praha 6. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 160 05 Praha 6, Vlastina ulice č. 889/23.

Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy po 14. hodině

Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má vyjít podle plánu 10. 4. 1987.

URYCHLENÍ, PŘESTAVBA, KVALITA

Aby se národní hospodářství rozvíjelo dynamicky, je třeba, aby se neustále zdokonaloval systém plánování a řízení ekonomiky, aby se postupně přebudovával hospodářský mechanismus. To vše jako jeden z hlavních úkolů naší společnosti vyplynulo z Politické zprávy ÚV KSČ XVII. sjezdu strany. Přestavbou hospodářského mechanismu se zabývalo po sjezdu i předsednictvo ÚV KSČ, které zdůraznilo, že soustavné zdokonalování řízení naší ekonomiky je jedním z klíčových prostředků k prosazení strategického kursu na urychlení sociálně ekonomického rozvoje cestou intenzifikace národního hospodářství.

Podstatou změn je nutnost zkvalitnit centrální řízení a plánování, zvýšit jejich účinnost a posílit odpovědnost a pravomoci hospodářské sféry za uspokojování společenských potřeb a plnění úkolů státního plánu na základě chozrasčotních metod hospodaření. Zásady přebudování hospodářského mechanismu ČSSR byly schváleny předsednictvem ÚV KSČ a vládou ČSSR počátkem tohoto roku. Základním předpokladem úspěšného zvládnutí celého tohoto procesu je vysoká angažovanost všech pracujících, soustředěné jednotné úsilí státních, hospodářských a odborových orgánů a organizací pod vedením Komunistické strany Československa.

Zásady přebudování hospodářského mechanismu mají 37 bodů. Vzhledem k tomu, že by měl být s nimi seznámen každý občan ČSSR, uvádíme stručnou charakteristiku jednotlivých bodů, celkové obsáhlé vysvětlení jednotlivých bodů bylo otištěno v Rudém právu dne 9. ledna 1987.

V prvním bodě Zásad se mluví o tom, že realizací strategie urychlení ekonomického a sociálního rozvoje je třeba vytvářet předpoklady pro přechod na kvalitativně nový stupeň rozvoje socialistické společnosti, což vyžaduje provést hluboké přeměny především v ekonomice, zejména uskutečnit zásadní obrat k intenzívnímu typu rozvoje a přeorientovat se na využívání kvalitativních činitelů ekonomického růstu. Při důsledném uplatňování principů řízení socialistické ekonomiky, především demokratického centralismu, upevňovat a rozmnožovat společenské vlastnictví výrobních prostředků a zvyšovat úroveň zespolečenštění výroby a jejího plánovitého řízení a organizování. Je třeba všestranně využívat všech kvalitativních činitelů ekonomického růstu, především vědeckotechnického rozvoje.

Druhý bod zásad se týká postupného zvyšování účinnosti centrálního řízení spolu s posilováním samostatnosti podnikové hospodářské sféry; přičemž zvýšení odpovědnosti a pravomoci hospodářské sféry je třeba chápat tak, že organizace hospodaří v zásadě jen se zdroji, které si vytvořily společensky žádoucím způsobem. Zvyšuje se pravomoc podniků při tvorbě a realizaci hospodářských plánů, užití vlastních zdrojů a při volbě odbytových, zásobovacích a kooperačních cest včetně navazování přímých vztahů s organizacemi států RVHP. Větší pravomoci podniků se také týkají určování struktury vyráběného zboží, které ovšem musí být v souladu s posláním organizace (je vyjádřeno v jejím statutu). Při tom vsem musí být ovšem dbáno na jednotnost cílů socialistické společnosti a tedy i na nezbytnost působení státního plánu, chozrasčot organizací a na účast kolektivů pracujících na řízení.

Třetí bod Zásad upozorňuje na nutnost posílit úlohu centrálního řízení a plánování, proto se činnost centrálních orgánů musí zaměřit na konkretizaci programových cílů hospodářské a sociální politiky KSČ dlouhodobými výhledy a státními plány, na rozpracování dlouhodobých věcných programů rozvoje ekonomiky, které jsou pro hospodářství rozhodující, a které rozhodují o dynamice inovačních a strukturálních přeměn, na programové zapojení do mezinárodní dělby práce a tím na zvyšování efektivnosti celého národního hospodářství. Centrální orgány musí dále upevnit proporcionalitu a rovnovážnost mezi hmotnými zdroji a peněžními prostředky, zabezpečit efektivní a proporcionální rozvoj celého národohospodářského komplexu, zvýšit náročnost ekonomických podmínek normativů a pravidel pro hospodaření organizací i pro výkon centrálních řídicích funkcí. Přitom se jim ukládá pronikavě omezit operativní a administrativní řízení na úrovni centrálních orgánů s cílem vytvořit prostor pro koncepční práci centra, pro posílení ekonomických metod řízení a zvýšení odpovědnosti a pravomocí organizací. Centrální orgány musí dále zabezpečit tomu všemu odpovídající změny obsahu státního plánu a hospodářských plánů organizací při jejich účelném vzájemném propojení a při jejich relativní samostatnosti.

Podstatně zvýšit odpovědnost organizací za efektivní uspokojování potřeb společnosti vyjadřovaných v požadavcích spotřebitelů, odběratelů a v úkolech státního plánu, to je úkol, daný čtvrtým bodem Zásad. Dále se v něm uvádí, že je nutné uplatnit plný chozrasčot, zejména princip, že organizace hospodaří v zásadě jen se zdroji, které vytvořila společensky žádoucím způsobem a bez takových dotací a výjimek, které dlouhodobě připouštějí nebo zakrývají neefektivnost. Současně bylo rozhodnuto zřídit nezávislou státní kontrolu jakosti v těch podnicích, které ve velké míře, delší dobu nebo opakovaně produkují nekvalitní výrobky. Kontrola spadá pod pravomoc Výborů lidové kontroly.

Pátý bod zásad se týká nutnosti dosáhnout těsnější vzájemné spolupráce a lepšího spojení podnikových zájmů s celospolečenskými racionalizací vztahů mezi centrem a organizacemi. V této souvislosti je třeba považovat za rozhodující závazné dlouholeté normativy, úkoly a limity i kritéria státního plánu. Tím by se mělo plně nahradit podrobné řízení organizací individualizovanými normativy a ukazateli účelnou kombinací závazných, v zásadě jednotných a dlouhodoběji stabilních ekonomických normativů s přímými nástroji řízení, tj. jmenovitými úkoly, vyplývajícími především ze strategických programů, jakož i limity rozdělení omezených zdrojů. Tyto normativy se budou vyhlašovat na počátku prací na pětiletém plánu pro jednotlivá léta plánovaného období, což by mělo vést podniky ke zdokonalování řízení, využívání výsledků vědeckotechnického pokroku a tím k trvalému růstu produktivity práce a efektivnosti. Jednotné ekonomické normativy by pak měly být společenským kritériem k hodnocení výsledků hospodaření organizací.

Bod šestý: Vytvořit rozhodující předpoklady k výraznému omezení operativní a administrativní činnosti centrálních orgánů změnou výstupů státního plánu, uplatňováním politiky hospodářské rovnovážnosti a proporcionality, objektivizací hodnotových nástrojů a zvýšením úlohy obecně platných právních předpisů.

Racionalizace organizační struktury a formy ve výrobě, výzkumu, projekci a oběhu je předmětem článku sedm. Za základní článek řízení považovat samostatnou hospodářskou jednotku, která je v rámci společenských norem a ekonomických podmínek schopna vytvářet programy a plány svého rozvoje a být hmotně odpovědna za jejich realizaci. Při určování základních článků řízení je třeba brát zřetel především na to, jak je navrhovaná organizace schopna plnit měnící se věcné úkoly rozvoje ekonomiky především v lepším uspokojování potřeb společnosti, v urychlo-

vání procesů vědeckotechnického rozvoje a zapojení do mezinárodní dělby práce. Umožnit existenci samostatných specializovaných podniků, diferencované formy ekonomického i organizačního propojení výroby s vnitřním i zahraničním obchodem, výzkumem, projekcí atd.; k tomu nedílně patří i právo organizací vstupovat na zahraniční trhy přímo, bez zprostředkování. To vše dále souvisí s nutností podporovat socialistickou podnikavost, omezovat neodůvodněnou monopolizaci a monopolní tendence a to tak, aby uspokojování potřeb společnosti bylo co nejúplnější.

Osmý a devátý článek ukládá rozpracovat zdokonalování organizačních struktur orgánů státní správy, při čemž je třeba omezovat nadbytečné mezičlánky; uplatňovat principy demokratického centralismu i v dalších sférách a článcích řízení ekonomiky, zejména uvnitř organizací a v územních vztazích.

Desátý článek ukládá zvýšit účinnost vztahů mezi organizacemi s cílem zvýhodnit postavení odběratelů vůči dodavatelům. Zabezpečovat soulad nabídky s poptávkou v mikrostruktuře např. i širším využíváním výhod mezinárodní dělby práce, zejména socialistické ekonomické integrace. Proto musí být i přehodnoceny obsah a funkce hospodářských smluv a zvětšena účinnost vlivu jejich uzavírání a plnění na konečné výsledky činnosti organizací. Jde o opatření k podstatnému zostření ekonomického postihu těch, kteří neplní dohodnuté termíny a obsah hospodářských smluv.

(Pokračování)

KRYSTALOVÉ JEDNOTKY A OSCILÁTORY

Josef Pavlovec, promovaný fyzik, ing. Jaroslav Šramar

Účelem následujících kapitol je předložit technické veřejnosti stručný, avšak celkový přehled současného stavu v oblasti krystalových jednotek a krystalových oscilátorů. Jsou probrány ty typy křemenných rezonátorů, s nimiž je možno v současné době počítat při konstrukci elektronických zařízení, i možnosti jejich použití v různých typech oscilátorů.

Bez nároků na odvození či přesné zdůvodnění jsou uvedeny nejdůležitější definice a vztahy potřebné pro specifikaci krystalových jednotek při návrhu oscilátorů a způsob měření jejich náhradních parametrů. Rovněž jsou stručně popsány technologické a pracovní postupy stěžejních operací při výrobě krystalů.

Pro ucelenost problematiky jsou kromě poznatků využitelných v amatérské praxi uvedeny i skutečnosti, souvisící s profesionálním technologickým a měřicím vybavením, nutným při výrobě krystalů a oscilátorů, které je mimo výrobní podnik buď zcela nedostupné, nebo dostupné pouze ve větších kolektivech.

1. Úvod

Přímý piezoelektrický jev byl popsán koncem minulého století bratry Pierrem a Jacquesem Curieovými. V roce 1880 zjistili u krystalu turmalínu a dalších krystalů, nemajících střed souměrnosti, že se po mechanickém stlačení v určitých směrech, které nazvali polárními osami, objeví na koncích těchto os elektrické náboje opačné polarity.

V roce 1881, po teoretické předpovědi německého fyzika Lippmana, bratři Curieové ukázali, že mechanická deformace piezoelektrických krystalů je úměrná intenzitě přiloženého elektrického pole. Jev byl nazván nepřímým piezoelektrickým jevem.

Piezoelektrický jev byl však využit až ve dvacátých letech našeho století, kdy Američan Cady (a později Pierce) použil křemenné destičky pro buzení a stabilizaci kmitočtu vysokofrekvenčních generátorů. Křemenný krystal se chová jako elektrický rezonanční obvod s velmi malým tlumením. Postupně pak vzniká celé průmyslové odvětví elektroniky, zabývající se výrobou krystalových jednotek a oscilátorů od nejnižších kmitočtů řádu jednotek kHz až po hranici 200 MHz. Relativní změna kmitočtu, kterou se vyznačují současné špičkové typy krystalových oscilátorů, je menší než 1.10^{-10} za den.

2. Piezoelektrické výbrusy a rezonátory

Vlastnosti krystalové jednotky (a tím i konečné parametry a použití krystalového oscilátoru jako zdroje signálu stabilního kmitočtu) jsou ovlivňovány fyzikálními charakteristikami výchozího krystalického materiálu a způsobem, popř. typem vlastního fyzikálního kmitavého pohybu krystalové destičky.

2.1. Křemenná surovina

Křemen je přírodní krystalický materiál, který má kromě piezoelektrických vlastností velmi stabilní mechanické i chemické vlastnosti. Chemickým složením je to oxid křemíku (kysličník křemičitý) SiO_2. Ačkoli zemská kůra obsahuje 14 % tohoto oxidu, vyskytuje se v krystalické formě, vhodné pro užití v elektronice, poměrně vzácně vzhledem k tomu, že základní krystalická surovina musí být prostá fyzikálních defektů, nečistot, prasklin apod. „Praktické" zdroje surového křemene patřičné kvality a potřebné hmotnosti byly nalezeny pouze na Madagaskaru a v Brazílii.

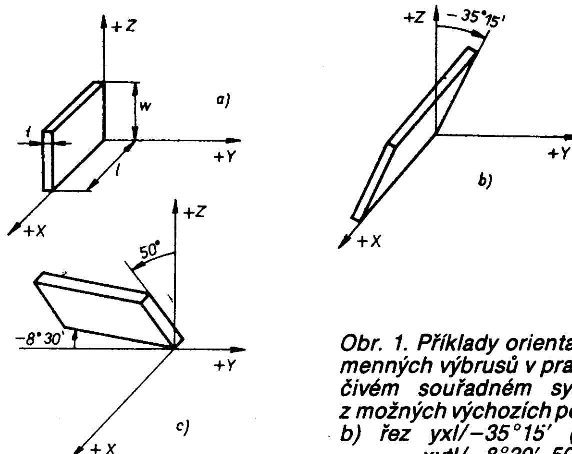
Proto bylo vynakládáno velké úsilí, aby byl „vypěstován" křemen syntetický. V současné době jsou problémy kolem výroby syntetického křemenného materiálu vyřešeny a to jak z hlediska potřebné kvality, tak z hlediska komerčního.

Křemenné zárodky vhodné orientace jsou umístěny v alkalickém roztoku s křemennou drtí v ocelovém autoklávu a při teplotě 400 °C a tlaku 1000 MPa na těchto zárodcích rostou rychlostí až 1 mm za den homogenní krystaly křemene, jejichž orientace i velikost jsou voleny tak, aby byl při dalším zpracování krystalický materiál optimálně využit.

Světoví producenti syntetického křemene (Japonsko, USA, SSSR) nabízejí dnes materiál, který je srovnatelný s přírodní surovinou a v poslední době ji dokonce svou dokonalostí předčí. V zemích LDS je kvalitní křemen pěstován v Polsku a Bulharsku.

2.2 Kmity krystalových výbrusů

Křemenný výbrus je destička (popř. tyčinka) daného geometrického tvaru vyříznutá z monokrystalu křemene, která je definovaným způsobem orientována vzhledem k jeho krystalografickým osám. Řez destičky je jednoznačně určen úhly, které svírá výchozí poloha řezu s dvěma osami (obr. 1). Výchozí poloha je taková,



Obr. 1. Příklady orientace a značení křemenných výbrusů v pravoúhlém pravotočivém souřadném systému; a) jedna z možných výchozích poloh, řez yx (řez Y), b) řez yxl/−35°15′ (řez AT), c) řez xytl/−8°30′, 50° (řez NT)

Tab. 1. Přehled využívaných typů křemenných rezonátorů a jejich základních vlastností

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Č.	Řez	Úhel řezu	Typ kmitu	Rezonanční kmitočet $f = K/a$	Kmitočtové pásmo	Tvar výbrusu	C_0/C_1	R_1 [Ω]	C_1 [fF] (mm, MHz)	L_1 [H] (mm, MHz)	*TKf*, tepl. průběh
1.	AT *yxl/Θ*	$\vartheta = -35°05'$ až $-35°25'$	tloušťkově střižný	$1665n/t$	0,8 až 200 MHz	kruhová destička $Ø/t<10$	$250n^2 \pm 20$	5 až 120	$0{,}0762d^2_e f/n^3$	$334n^3/d^2_e f^3$	kubická parab. $T_0 = 22$ °C
2.	SC *yxwl/φ,Θ*	$\varphi = +22°$ $\Theta = -34°$	tloušťkově střižný	$1808n/t$	5 až 100 MHz	kruhová destička $Ø/t<10$	$700n^2 \pm 90$	10 až 150	$0{,}0195d^2_e f/n^3$	$1303n^3/d^2_e f^3$	kubická parab. $T_0 = 90$ °C
3.	BT *yxl/Θ*	$\Theta = +48$ až $+49°$	tloušťkově střižný	$2517n/t$	5 až 15 MHz	kruhová destička $Ø/t<10$	$620n^2$	10 až 120	$0{,}0254d^2_e/n^3$	$1000n^3/d^2_e f^3$	parabola $T_0 = 0$ až 70 °C
4.	CT *yxl/Θ*	$\Theta = -38$ až $-39°$	plošně střižný	$3070/l$	300 až 1000 kHz	kruh. nebo čtverc. destička	350	1000	$1{,}08/tf^2.10^3$	$23{,}3t$	parabola $T_0 = 0$ až 50 °C
5.	DT *yxl/Θ*	$\Theta = +51$ až $+53°$	plošně střižný	$2070/l$	200 až 500 kHz	kruh. nebo čtverc. destička	400	1000	$0{,}43/tf^2.10^3$	$59t$	parabola $T_0 = 0$ až 50 °C
6.	NT *xytl/Ψ, Θ*	$\Psi = -8{,}5°$ $\Theta = \pm30$ až $50°$	ohybový ve směru tloušťky	$4200w/l^2$	10 až 50 kHz	destička $w/l = 0{,}4$ $t = 0{,}2$ až 1 mm	900	200 až 2000	$2{,}42/tf^2.10^6$	$1{,}05.10^4 t$	parabola $T_0 = 20$ až 30 °C
7.	X +18 *xyt/Ψ*	$\psi = +18{,}5°$	podélný	$2560/l$	60 až 120 kHz	destička $w/l = 0{,}2$ až 1 $t = 0{,}2$ až 1 mm	130	1000	$0{,}301/tf^2.10^3$	$84t$	$-2{,}7.10^{-5}$/°C pro 10 až 50 °C
8.	X-5° *xyt/Ψ*	$\Psi = -5°$	podélný	$2820/l$	50 až 200 kHz	destička $w/l \leqq 0{,}15$ $t = 0{,}2$ až 1,5 mm	125	1000	$0{,}383/tf^2.10^3$	$66t$	parabola $T_0 = 0$ až 50 °C
			ohybový ve směru tloušťky	$5600t/l^2$	0,5 až 10 kHz	bimorfní tyčinka	200	20 000 až 50 000	$2{,}54/tf^2.10^7$	$1000t$	-5 až -10.10^{-6}/°C
			ohybový ve směru tloušťky	$5700t/l^2$	2 až 40 kHz	tyčinka $t/w = 0{,}85$ $t/l<0{,}15$	200	5000 až 50 000	$2{,}5/tf^2.10^7$	$1000t$	parabola $T_0 = 20$ až 50 °C
			ohybový ve směru šířky	$5000w/l^2$	10 až 100 kHz	destička $w/l \geqq 0{,}15$ $t = 0{,}2$ až 1 mm	190	200 až 2000	$0{,}0179/tf^2.10^3$	$1{,}42.10^3 t$	-5 až -18.10^{-6}/°C
9.	GT *yxlt/Θ, Ψ*	$\Theta = -51$ až $-52°$ $\psi = +45°$	plošně střižný	$3293/l$	100 až 350 kHz	obdél. dest. $l/w = 0{,}859$ $t = 0{,}2$ až 1 mm	350	100	$1{,}52/tf^2.10^3$	$16{,}7t$	nulový v rozmezí 0 až 100 °C

kdy jsou hrany destičky (*l* – délka, *w* – šířka, *t* – tloušťka) rovnoběžné s osami pravoúhlé soustavy os. Destičku, jejíž tloušťka je ve směru osy X, popř. Y, popř. Z, nazýváme výbrusem řezu *x*, popř. *y*, popř. *z*. Směr délky destičky udává obvykle druhé písmeno ve významu řezu. Třetí, čtvrté, případně páté písmeno udává hrany, kolem nichž se destička postupně natáčí o úhly *Θ*, *φ*, *Ψ*, udávané v patřičném pořadí za lomítkem významu, se znaménkem + při natočení proti směru hodinových ruček při pohledu proti kladnému směru krystalografické osy, se znaménkem – při natočení ve směru hodinových ruček. Popsaný způsob orientace a značení je zřejmý z obr. 1 a z tab. 1 a je shodný s doporučením a normami IEEE [7].

V současné době jsou však vžité i dvoupísmenné názvy některých řezů. Vzhledem ke stručnosti jsou tyto názvy použity v popisu obr. 1 a jsou rovněž uvedeny v tab. 1. Ve vyznačení znamének úhlů jednotlivých řezů lze se setkat s různými způsoby, takže např. řez AT lze najít pod označením *yx* +35° nebo *y* 55°.

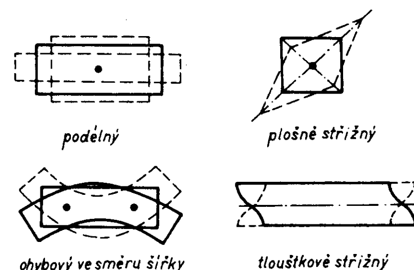
Piezoelektrický výbrus, jako každé těleso s několika stupni volnosti, může kmitat různými jednoduchými i vázanými typy kmitů. Tyto kmity lze vybudit obráceným piezoelektrickým jevem, vytvořeným střídavým napětím, přiváděným na elektrody nanesené na vhodných plochách výbrusu. Amplituda kmitu bude největší, bude-li kmitočet harmonicky proměnného napětí v rezonanci s vlastními mechanickými kmity krystalového výbrusu, určenými jeho geometrickými rozměry.

U výbrusů různých řezů lze vybudit čtyři základní typy (módy) kmitů: podélné, ohybové, plošně střižné a tloušťkově střižné, viz obr. 2. Přehled využívaných typů kmitů v širokém rozmezí kmitočtového pásma je uveden v tab. 1.

Řada piezoelektrických výbrusů je používána k různým účelům jak z hlediska volby vlastního kmitočtu, použitím v oscilátorech nebo filtrech, tak z hlediska stability kmitočtu v závislosti na teplotě a času.

Jednou z veličin charakterizujících křemenný rezonátor je kmitočtová konstanta K_f

$$K_f = f_r a \quad (2.1),$$



Obr. 2. Základní módy kmitů

kde f_r je rezonanční kmitočet výbrusu,
a je rozměr výbrusu určující kmitočet. Při podélných kmitech je to délka krystalové tyčinky, při rozpínavých (radiálních) kmitech se jedná o průměr kruhové desky nebo strany pravoúhlé desky, při kmitech ve směru tloušťky jde o tloušťku krystalového výbrusu.

Kmitočtová konstanta závisí na specifické hmotnosti křemene a je funkcí elastických konstant; má rozměr [kHz, mm].

Ve sloupci 4 tab. 1 jsou uvedeny kmitočtové konstanty a vztahy pro výpočet rezonančního kmitočtu; kmitočet je ovšem většinou orientační, protože pro jeho přesnou velikost je třeba znát kmitočtovou konstantu v závislosti na konečném geometrickém tvaru a orientaci výbrusu. Tyto závislosti je možno pro jednodušší případy nalézt v odborné literatuře [2], nebo bývají experimentálně odzkoušeny pro určité rozmezí tvarů a orientací.

V sloupci 6 tab. 1 jsou uvedeny používané tvary výbrusů pro různé kmitočtové oblasti. Na základě těchto údajů je možno odhadnout typ kmitů a kmitočtové pásmo nepopsaných nebo neznámých krystalových rezonátorů.

2.3 Stabilita kmitočtu

Krystalový výbrus opatřený elektrodovým systémem je nazýván rezonátorem. Jedním ze základních parametrů krystalových rezonátorů je stabilita kmitočtu. Je rozlišována v závislosti na čase a na vnějších podmínkách, z nichž nejpožadovanější je okolní teplota. Mluvíme pak o stabilitě krátkodobé, v intervalech od µs do desítek sekund, která přímo souvisí s šumovou čistotou vf signálu [3], o stabilitě dlouhodobé v intervalech dnů, měsíců, roků a dále o stabilitě teplotní v daném užším či širším teplotním rozmezí.

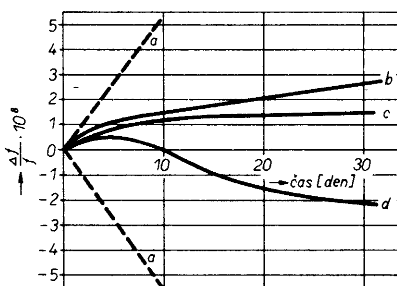
Časová stabilita kmitočtu se v této kapitole vztahuje na vf rezonátory kmitající tloušťkově střižně, které se také jeví v tomto smyslu jako nejstabilnější a jejich stálost je předmětem mnoha studií a publikací.

Dlouhodobá stabilita je určována hmotnostními změnami na povrchu krystalového rezonátoru a změnami fyzikálních vlastností tenkovrstvových elektrod, popř. opracovaného povrchu křemenné destičky. Tloušťkově střižně kmitající rezonátor můžeme považovat za mikrováhu. Změna hmotnosti elektrod o 5.10^{-9} gramu vyvolá u rezonátoru 10 MHz na základní harmonické změnu kmitočtu 1 Hz, neboli relativní změnu 1.10^{-7}. Stabilita kmitočtu oscilátorů s kvalitní krystalovou jednotkou 10 MHz pracující na 3. harmonické je zaručována např. 1.10^{-9}/den, což znamená změnu hmotnosti $1,5.10^{-10}$ gramu. Proto první podmínkou stability kmitočtu je minimalizace hmotnostních změn na povrchu rezonátoru, tj. omezení transpozice a migrace hmoty jak na vlastním rezonátoru, tak mezi ním a vnitřním povrchem pouzdra a konstrukcí držáku. Dále je nutné používat inertní atmosféru nebo evakuaci (vyčerpání vzduchu) prostoru držáků, aby nedocházelo ke kontaminaci a chemickým pochodům (oxidaci) na kovové elektrodě.

Čistota výrobních pracovišť bez přítomnosti obzvláště mastných nečistot a „vůní" je bezpodmínečnou podmínkou při výrobě jakýchkoli rezonátorů; pracoviště pro výrobu přesných normálových krystalových jednotek předpokládá prostředí s definovanou prašností a bezolejová zařízení při vytváření elektrodových systémů a konečném pouzdření.

Napařování elektrod je spojeno se vznikem mechanického pnutí na povrchu výbrusů, které se s časem i vlivem teploty okolí mění a způsobuje dlouhodobé posuvy i krátkodobé změny kmitočtu. V poslední době jsou proto pro konstrukci velmi přesných jednotek v pásmu 5 až 10 MHz, určených pro normálové standardy kmitočtu, ale i u rezonátorů s požadovaným malým šumem na vysokých kmitočtech (100 MHz) používány nové typy orientací krystalových řezů, tzv. řezy SC, viz tab. 1, u nichž je závislost kmitočtu na povrchovém napětí nulová.

Změny kmitočtu charakteristické pro dlouhodobou stabilitu krystalových rezonátorů mají exponenciální průběh. Typické závislosti pro různé provedení krystalových jednotek jsou na obr. 3.



Obr. 3. Průběh časové stability kmitočtu KJ; a) přerušovanou čarou ohraničena oblast průběhů časové stability kmitočtu do ±5,5.10⁻⁹/den (±2.10⁻⁶/rok) KJ v rozmezí 5 až 10 MHz na 1. harmonické, elektroda Ag, pouzdřených pájením nebo impulsním svarem, b) KJ 10 MHz, elektroda Au, skleněné novalové pouzdro, stabilita +9.10⁻¹⁰/den, c) KJ 10 MHz, elektroda Au, kovové pouzdro uzavírané studeným svarem, stabilita kmitočtu +5.10⁻¹⁰/den, d) KJ 5 MHz, elektroda Al, skleněné novalové pouzdro, stabilita kmitočtu −7.10⁻¹⁰/den

Teplotní stabilitu kmitočtu charakterizuje teplotní koeficient kmitočtu (*TKf*), což je označení pro relativní změnu kmitočtu vztaženou na 1 °C. Často se rovněž udává jako střední hodnota v daném rozmezí teplot

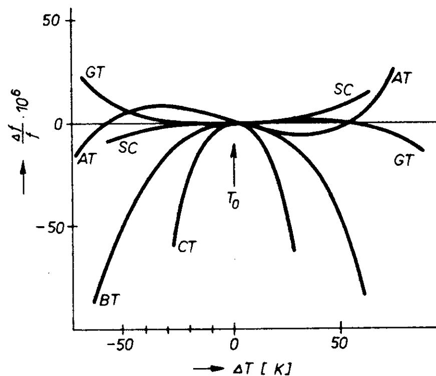
$$TKf = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{jm}(T_2 - T_1)} \qquad (2.2),$$

kde f_{max}, f_{min} jsou kmitočty v intervalu teplot $T_2 - T_1$,
f_{jm} je jmenovitý kmitočet rezonátoru.

Průběh teplotní závislosti kmitočtu některých krystalových řezů je na obr. 4. Je zřejmé, že při jistých teplotách může být *TKf* = 0. Teplotní závislosti kmitočtu řezů s nulovou *TKf* lze vyjádřit vztahem

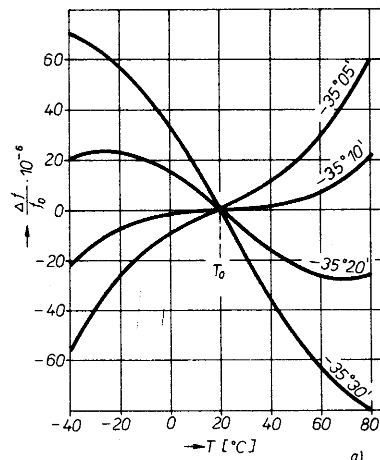
$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f - f_0}{f_0} = a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)^2 + a_3(T - T_0)^3 \qquad (2.3),$$

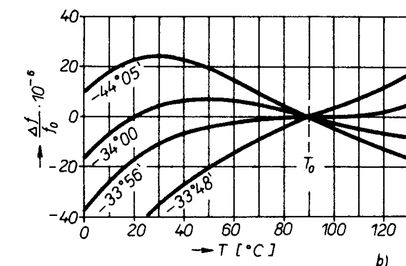
představujícím parabolu třetího stupně, kde a_1, a_2, a_3 jsou teplotní koeficienty 1., 2. a 3. řádu, obecně závislé na elastických vlastnostech a orientaci daného řezu [1].



Obr. 4. Charakteristické průběhy teplotních závislostí kmitočtu některých řezů křemene; CT, BT – T_0 = 5 až 60 °C, AT – T_0 = 22 °C, SC – T_0 = 90 °C, GT – T_0 ≈ 40 °C

Většina řezů s nulovým *TKf* má v používaném rozmezí teplot parabolickou závislost určenou velikostí koeficientu a_2, (a_3 = 0). Závislost typu kubické paraboly v běžném rozmezí teplot (−60 až +120 °C), kdy $a_3 \neq 0$, mají výbrusy kmitající tloušťkově střižně, obr. 5, řezu AT, SC. Tyto řezy mají v okolí teploty T_0 koeficient $a_2 = 0$ a ve značně širokém teplotním rozmezí (50 °C) kolem této teploty je $TKf < 4.10^{-8}$/°C [4].



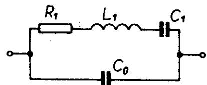


Obr. 5. Teplotní závislost kmitočtu rezonátoru AT, φ = 0° (a), rezonátoru SC, φ = 21°56′ (b)

Výjimku tvoří skupina rezonátorů řezu GT, kdy, zjednodušeně řečeno, jsou využívány dva vzájemně vázané podélné kmitočty, u nichž je možno poměrem šířky ku délce pravoúhlého výbrusu nastavit kladný a záporný *TKf* jednotlivých kmitů a výsledný složený plošně střižný kmit má pak *TKf* kompenzovaný v širokém rozmezí teplot (při 0 až 100 °C je $TKf < 4.10^{-8}$/°C).

3. Elektrický náhradní obvod piezoelektrických rezonátorů

Elektrické vlastnosti piezoelektrického rezonátoru lze vyjádřit elektrickým náhradním obvodem složeným z odporů, kapacit a indukčností [1], [2]. Pro sledování vlastností v blízkosti hlavní rezonance bude jeho chování popsáno náhradním obvodem podle obr. 6.



Obr. 6. Náhradní schéma krystalového oscilátoru; R_1 – sériový náhradní odpor, L_1 – dynamická indukčnost, C_1 – dynamická kapacita, C_0 – statická kapacita

Znalost parametrů elektrického náhradního obvodu je důležitá, chceme-li rezonátor použít pro stabilizaci kmitočtu v různých zapojeních oscilátorů, při realizaci velmi selektivních filtrů, případně v dalších aplikacích. Je třeba poznamenat, že v praxi nelze kmitající krystalový rezonátor nahradit příslušným obvodem, protože skutečná cívka s indukčností L_1 danou náhradním obvodem by měla činný odpor mnohem větší než odpovídá odporu R_1 a její vlastní kapacita by v daném kmitočtovém oboru potlačila její indukční charakter. Právě ve vzájemném poměru jednotlivých parametrů náhradního obvodu, který se nedá realizovat kombinací cívek a kondenzátorů, je mimořádný význam použití krystalových rezonátorů v elektrických obvodech.

Sériová větev náhradního schématu popisuje dynamické chování rezonátoru v okolí jeho rezonančního kmitočtu, paralelní větev představuje kapacitu tvořenou dielektrikem krystalového výbrusu mezi elektrodami. Kmitající hmota je symbolizována dynamickou indukčností L_1, zatímco elasticita je reprezentována dynamickou kapacitou C_1. Náhradní odpor R_1 představuje tlumení kmitů jak vnější, způsobené upevněním rezonátoru v držáku, atmosférou obklopující výbrus, tak vnitřní, ovlivněné typem kmitů, kvalitou materiálu, teplotou i dalšími vlivy.

Dynamická kapacita a indukčnost jsou funkcemi elastických, piezoelektrických a dielektrických vlastností krystalového řezu, dále závisí na geometrii vlastního výbrusu, tvaru a velikosti elektrod a velikosti harmonických kmitů. Jejich matematické vyjádření vychází z řešení pohybových rovnic s okrajovými podmínkami a je uvedeno např. v [1], [2].

Dynamická kapacita C_1 krystalového rezonátoru je velmi malá ve srovnání s běžným laděným obvodem LC, používaným ve vf technice. Přibližně může být vypočtena pro planparalelní kruhovou destičku kmitající tloušťkově střižně ze vztahu

$$C_1 = 0{,}1 k_c d^2_{el} \frac{f_s}{n^3} \qquad (3.1),$$

kde C_1 je kapacita ve femtofaradech (1 fF = 10^{-3} pF),
f_s rezonanční kmitočet [MHz],
d_{el} průměr elektrody [mm],
n harmonická kmitočtu (1, 3, 5, 7 ..)
k korekční konstanta (k_c = 1 pro n = 1; 0,85 pro n = 3; 0,75 pro n = 5 a větší).

Veličiny L_1 a C_1 jsou vzájemně vázány Thomsonovým vztahem

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f^2_s C_1} \qquad (3.2).$$

Statická kapacita C_0 může být vypočtena ze vztahu

$$C_0 = 0{,}02 d^2_{el} \frac{f_s}{n} \text{ [pF; mm, MHz]} \qquad (3.3).$$

Tato kapacita může být zvětšena o kapacitu přívodů krystalového držáku.

Důležitou veličinou je poměr C_1/C_0; je funkcí elektromechanického koeficientu k, jehož druhá mocnina je poměrem získané energie (amplitudy) kmitů k vložené elektrické energii daného typu kmitů. Elektromechanický koeficient je charakteristickým parametrem každého piezoelektrického materiálu a jeho velikost popisuje účinnost přeměny elektrické energie v mechanickou.

Pro impedance obou větví náhradního obvodu z obr. 6 je možno napsat vztahy

$$Z_0 = jX_0 = -\frac{j}{\omega C_0} \qquad (3.4)$$

pro paralelní větev,

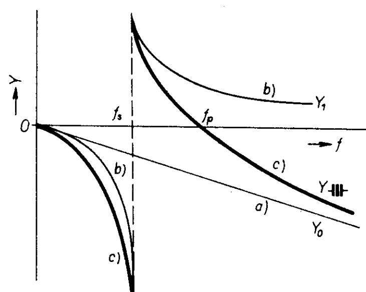
$$Z_1 = R_1 + jX_1 = R_1 + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}) \qquad (3.5),$$

pro sériovou větev.

Výsledná impedance Z, popř. admitance Y bude,

$$\frac{1}{Z} = Y = \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_1} = Y_0 + Y_1 \qquad (3.6).$$

Na obr. 7 je znázorněn průběh admitancí statické kapacity C_0 a sériové větve pro bezeztrátový rezonátor, $R_1 = 0$, na kmitočtu v blízkosti vlastní rezonance. Z průběhu výsledné admitance, křivka c na obr. 7, je zřejmé, že můžeme definovat dva rezonanční kmitočty, kdy bude



Obr. 7. Rozložení rezonancí f_s, f_p bezeztrátového elektrického náhradního obvodu krystalového rezonátoru; a) závislost admitance paralelní větve, Y_0, b) závislost admitance sériové větve, Y_1, c) závislost admitance Y na kmitočtu

reaktance X nulová. Pro nižší z nich, kmitočet sériové rezonance, nezávislý na paralelní větvi, platí

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \qquad (3.7),$$

pro vyšší kmitočet paralelní rezonance, podmíněný přítomností statické kapacity, platí

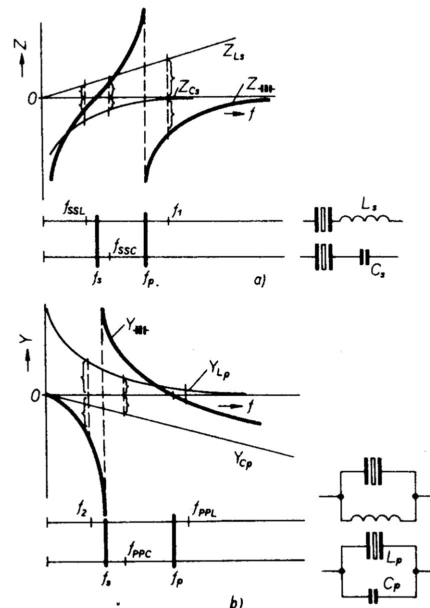
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}} = f_s \sqrt{1 + C_1/C_0} \qquad (3.8),$$

kde $C = (C_0 C_1)/(C_0 + C_1)$ je kapacita sériové kombinace C_1 a C_0.

Důležitým parametrem krystalového rezonátoru je „vzdálenost" kmitočtů sériové a paralelní rezonance, která je dána vztahem

$$\frac{f_p - f_s}{f_s} \approx \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} \qquad (3.9)$$

a je závislá především na dynamické kapacitě, tj. vedle piezoelektrických vlastností také na geometrickém tvaru výbrusu



Obr. 8. Rozložení rezonancí bezeztrátového náhradního obvodu krystalového rezonátoru s přídavnými reaktancemi; a) rezonance se sériovou indukčností a kapacitou, b) rezonance s paralelní indukčností a kapacitou

a velikosti elektrod. Dále může být ovlivněna tzv. zatěžovací reaktancí, tj. reaktancí zapojenou sériově nebo paralelně ke krystalové jednotce. Jak se změní poloha obou rezonancí v těchto případech, je ilustrováno na obr. 8. Podrobnější odvození a vztahy pro výsledné kmitočty jsou v [5]. Na tomto místě uvedeme pouze jednodušší výrazy pro zatěžovací sériovou a paralelní kapacitu C_L

$$f_L = f_{SSC} = f_{PPC} = f_s(1 + \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)}) \qquad (3.10),$$

kmitočet je vyšší než původní f_s pro sériovou C_L nebo nižší než původní f_p pro paralelní C_L.

Paralelním nebo sériovým připojením indukčnosti nastává analogický posuv. Sériová indukčnost změní f_s na f_{SSL}, který je nižší než původní f_s, a vzniká další rezonance f_1 nad f_p; paralelní indukčnost změní f_p na f_{PPL}, který je vyšší než původní f_p, a vzniká další rezonance f_2 pod f_s.

Pro citlivost na změnu C_L platí přibližný vztah

$$S = \frac{1}{f_s} \frac{\Delta f_L}{\Delta C_L} \approx -\frac{C_1}{2(C_0 + C_L)^2} \qquad (3.11),$$

z něhož je zřejmé, že pro malé zatěžovací kapacity srovnatelné s kapacitou C_0 bude změna velká a pro velké zatěžovací kapacity, prakticky větší než 100 pF, bude již změna malá. Tuto citlivost lze zvětšit kompenzací statické kapacity C_0 připojením paralelní indukčnosti

$$L_p = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_0} \qquad (3.12).$$

Pak místo (3.10) platí pro

$$f_L = f_s(1 + C_1/2C_L) \qquad (3.13)$$

a pro citlivost

$$S = -C_1/2C^2_L \qquad (3.14).$$

Dalším důležitým parametrem krystalo-

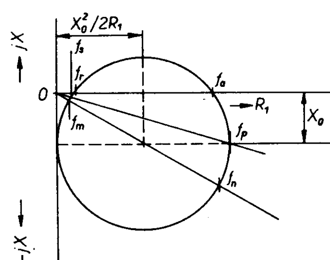
vého rezonátoru je jeho činitel jakosti Q, definovaný vztahem

$$Q = \frac{2\pi f_s L_1}{R_1} = \frac{1}{2\pi f_s R_1 C_1} \quad (3.15).$$

Jakost je mírou aktivity a kmitočtové stability rezonátoru. Pokud se připojením zatěžovací reaktance příliš zvětší vzdálenost obou kmitočtů $f_L - f_s$, jakost se prudce zmenšuje a charakter kmitů již není určován vlastnostmi krystalu, nýbrž stabilitou připojovaných reaktancí. Pro ilustraci uvádíme vztah pro výslednou jakost Q' v závislosti na připojené sériové kapacitě C_L

$$Q' \doteq Q \sqrt{(1 - 8\pi^2 f^2_s C^2_0 R^2_1 (1 + C_0/C_L)^2)} \quad (3.16).$$

Elektrické chování piezoelektrického rezonátoru s uvážením ztrát, $R_1 \neq 0$, bývá často popisováno pomocí impedančního nebo admitančního kruhového diagramu [1]. Na obr. 9 je příklad impedančního diagramu v komplexní rovině. V tab. 2 jsou uvedeny typické velikosti parametrů rezonátoru 10 MHz řezu AT.



$$f_m = f_s \sqrt{1 + \frac{1}{2r}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}}\right)} \qquad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}}$$

$$f_r = f_s \sqrt{1 + \frac{1}{2r}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}}\right)} \qquad C = \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}$$

$$f_a = f_s \sqrt{1 + \frac{1}{2r}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}}\right)} \qquad r = \frac{C_0}{C_1}$$

$$f_n = f_s \sqrt{1 + \frac{1}{2r}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}}\right)} \qquad Q = \frac{2f L_1}{R_1}$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \qquad M = \frac{Q}{r}.$$

Obr. 9. Impedanční diagram krystalového rezonátoru; f_r – rezonanční kmitočet při nulové fázi, f_a – antirezonanční kmitočet při nulové fázi, f_m – kmitočet při minimální impedanci, f_n – kmitočet při maximální impedanci, f_p – kmitočet paralelní rezonance, f_s – kmitočet sériové rezonance

Tab. 2. Parametry krystalové jednotky 10 MHz řezu AT; průměr elektrody rezonátoru je 6 mm

L_1	0,0093 H	f_s	10 000 000,000 Hz
C_1	27,2 fF	f_m	9 999 999,467 Hz
R_1	12 Ω	f_r	10 000 000,533 Hz
C_0	7 pF	f_a	10 019 435,832 Hz
r	257	f_n	10 019 436,897 Hz
Q	49 000	f_p	10 019 436,024 Hz
M	191		

Je zřejmé, že rezonanční kmitočty f_s, f_p nejsou jedinými význačnými kmitočty reálného krystalového rezonátoru, ale že jsou naopak definovány kmitočty další. Fázový úhel sériové rezonance reálného krystalu bude

$$\varphi = \text{arctg}\,\frac{R_1}{X_0} = -\text{arctg}\,(2\pi f_s R_1 C_0) \quad (3.17).$$

a pro střed kruhového diagramu platí

$$\varphi_M = \text{arctg}\,(4\pi f_s R_1 C_0) \quad (3.18).$$

Se zvyšujícím se kmitočtem bude se zvětšovat úhel φ_M a rozdíly mezi f_M, f_r, f_s se budou rovněž zvětšovat, zvětšovat se bude v porovnání s R_1 i rezonanční odpor R_r. Mírou těchto rozdílů je tzv. číslo jakosti

$$M = \frac{1}{2\pi f_s C_0 R_1} \quad (3.19).$$

Při kmitočtech kolem 120 MHz může se M zmenšit natolik, že kruhový diagram již neprotne reálnou osu a rezonanční kmitočet f_r nebude nadále reálný.

4. Měření kmitočtu a náhradních parametrů

Vzhledem ke specifičnosti vlastností krystalových rezonátorů je třeba použít i specifické způsoby měření kmitočtu a náhradních parametrů. S výjimkou statické kapacity, kterou lze zjistit obvyklým způsobem na přístrojích pro měření kapacit, se jedná o měření kmitočtu, náhradního sériového odporu (ESR), dynamické indukčnosti, popř. kapacity, metodami více či méně náročnými, komplikovanými či různorodými, při nichž se používá řada přístrojů a zařízení. V zásadě jsou rozlišovány dvě metody měření, obvykle nazývané aktivní a pasívní.

Aktivní metoda využívá určitých definovaných typů oscilátorů (Hegner, CI-metr), v nichž jsou krystalové jednotky (KJ) rozkmitávány. Pro měření kmitočtu a náhradních parametrů jsou to obvykle oscilátory, v nichž krystal pracuje poblíž své sériové rezonance. **Absolutní přesnost kmitočtu sériové rezonance u těchto vybraných oscilátorů obvykle bývá v toleranci ±1,0 až 1,5.10^{-5}, při pečlivém nastavení oscilátorů a dobře provedeném měření v rozmezí ±5.10^{-6} (pro měření na různých typech oscilátorů).**

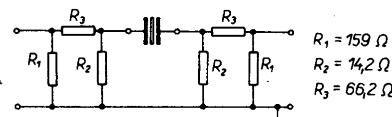
Náhradní (rezonanční) odpor je určován substitucí ekvivalentního odporu takového, při němž je dosaženo téže úrovně výstupního signálu.

Náhradní dynamickou kapacitu je možno získat výpočtem ze vztahu

$$C_1 = \frac{\Delta f_1}{\pi f_s}\,\frac{C_1 - C_2}{1 - \Delta f_1/\Delta f_2} \quad (4.1).$$

kde Δf_1, Δf_2 jsou rozladění rezonančního kmitočtu vzhledem k f_s známými kapacitami C_1, C_2.

Aktivní metoda umožňuje jako jediná přesně sledovat relativní změny kmitočtu řádu 10^{-9} až 10^{-11}. Kmitočet se měří na oscilátorech, umístěných v termostatech, číslicovým čítačem, přičemž přesnost je dána stabilitou kmitočtu používaného normálu (interního nebo externího). Potřebného rozlišení při změnách řádu 10^{-10}, 10^{-11} je dosahováno používáním násobičů kmitočtu [3]. Rovněž pro nepřímá měření kmitočtových změn řádu 10^{-12}, 10^{-13}, tzv. krátkodobé stability kmitočtu v časových intervalech od desítek sekund, kdy se stabilita zjišťuje statickými metodami [3], pracuje krystalová jednotka v aktivním zapojení.

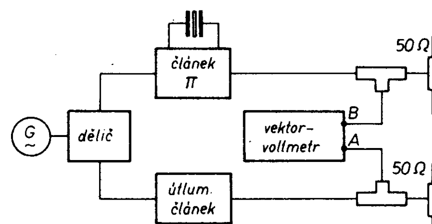


Obr. 10. Článek Π; R_1 = 159 Ω, R_2 = 14,2 Ω, R_3 = 66,2 Ω

4.1 Pasívní měření

V okolí sériové rezonance (ale také v okolí paralelní rezonance) se nalézají tři blízké charakteristické kmitočty, viz kapitola 3; chyba při záměně je úměrná velikosti vztahu $C_0/(2C_1Q^2)$. Určit přesně sériovou rezonanci f_s měřením je velmi **obtížné, avšak fáze impedančního vektoru se mění v oblasti sériové rezonance** velmi rychle a kmitočet f_r lze měřením nulové fáze určit velmi přesně.

Krystal je zapojen v odporovém článku Π (obr. 10) konstruovaném tak, aby byl bez parazitních indukčních a kapacitních složek a měl nulový fázový posuv v celém kmitočtovém pásmu do 100 případně 120 MHz. Odpory R_1 až R_3 se volí tak, aby pro uspořádání podle obr. 11, kdy je



Obr. 11. Uspořádání pro pasívní měření krystalových rezonátorů do 100 MHz

vstupní i výstupní impedance článku Π 50 Ω, byla zátěž krystalového rezonátoru souměrná a to 12,5 Ω. Pak bude při nulovém fázovém posuvu mezi kanály A a B vektorvoltmetru správně měřen kmitočet f_r. Sériový kmitočet f_s je pak možno vypočítat ze vztahu

$$\frac{f_r - f_s}{f_s} = \frac{1}{2Q}\,\text{arctg}\,(2\pi f_s R_1 C_0) \doteq$$

$$\doteq \frac{r}{2Q^2} \quad (4.2).$$

Tento rozdíl je pro rezonátor 10 MHz na základním kmitočtu asi 2.10^{-8}, pro rezonátor 120 MHz na 5. harmonické kolem 5.10^{-7}.

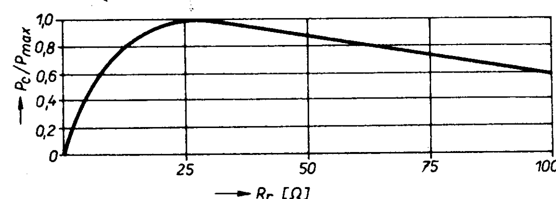
V uspořádání podle obr. 11 je možno zjišťovat sériový rezonanční odpor (ESR, který bude prakticky totožný s náhradním sériovým odporem R_1) tak, že změříme napětí U_B na kanálu B s vloženým zkratem namísto rezonátoru, a napětí U_{BK} při nulové fázi s vloženým rezonátorem. Pak v uvedeném uspořádání platí

$$R_r = 25\left(\frac{U_B}{U_{BK}} - 1\right) \quad (4.3)$$

Je-li rezonanční odpor 25 Ω, je možné vypočítat zatížení krystalové jednotky ze vztahu

$$P_{max} = (U_B/57{,}8)^2 \quad [\text{mW; mV}] \quad (4.4).$$

Pro jiné R_r se mění zatížení P_c podle obr. 12.



Obr. 12. Závislost zatížení rezonátoru na jeho odporu

Dynamickou kapacitu lze zjistit rozladěním dvěma sériově zařazenými zatěžovacími kapacitami C_{L1} a C_{L2}. Pak platí

$$C_1 = \frac{2\,\Delta f_1\,\Delta f_2\,(C_{L1} - C_{L2})}{f_r\,(\Delta f_2 - \Delta f_1)} \qquad (4.5).$$

Dynamickou indukčnost je možno vypočítat ze vztahu

$$L_1\,[\mathrm{H}] = \frac{(R_1 + 25)\,\mathrm{tg}\,\varphi}{2\pi\,(f_{+\varphi} - f_{-\varphi})} \qquad (4.6);$$

pro rozladění Δf odpovídající změně fáze (fázovému ofsetu) ±45° se vztah zjednoduší na

$$L_1 = \frac{R_1 + 25}{2\pi\,\Delta f}\ [\mathrm{H}; \Omega, \mathrm{Hz}] \qquad (4.7).$$

Pasívní měření je především určeno pro vysokofrekvenční krystalové jednotky tj. pro krystaly řezu AT, u nichž je přesnost dána chybou v určení fázového úhlu a pohybuje se obvykle v mezích 5 až 10.10^{-7}/stupeň. Pro odpory R_1 větší než 200 Ω se zvětšuje výkon rozptylený na KJ a je obtížné nalézt nulovou fázi, pro odpory větší než 400 Ω se rezonance již určit nedá.

Z obr. 9 je zřejmé, že bude-li pro vyšší kmitočty nebo velkou statickou kapacitu C_0 reaktance X_0 příliš malá (tj. bude platit $X_0 < 2R_1$), reaktance náhradního obvodu nebude nikdy nulová a kmitočty f_r, f_a nebudou mít význam, charakter obvodu bude čistě kapacitní. Rovněž výpočet náhradních parametrů z fázového ofsetu bude pro malé jakosti M ($M < 8$) zatížen chybou větší než 10 %.

Pro měření krystalových jednotek vyšších kmitočtů, tj. nad 100 až 120 MHz, podle kvality odporového článku Π, je třeba statickou kapacitu kompenzovat. Kapacita se obvykle kompenzuje připojením paralelní indukčnosti ke krystalu, vyladěné se statickou kapacitou C_0 přibližně do blízkosti rezonance krystalu. Pak je možno ze vztahu (4.3) vypočítat rezonanční odpor R_{P0} této kombinace na kmitočtu mimo rezonanci krystalu a R_1 se získá ze vztahu

$$R_1 = \frac{R_{P0}\,R_0}{R_{P0} - R_0} \qquad (4.8),$$

kde R_0 je odpor při nulové fázi na kmitočtu krystalu. Tento způsob kompenzace je časově náročný a neumožňuje zjistit další dynamické parametry podle fázového ofsetu.

V poslední době je užíváno zapojení podle obr. 13, umožňující měřit kmitočty a počítat náhradní parametry až do kmitočtu 500 MHz [6], [9]. Obvod se kompenzuje místo indukčností proměnnou kapacitou. Stávající článek Π je doplněn dalším článkem Π se sériově proměnnou kapacitou ve druhé větvi. Přívod v kanálu B je rozvětven hybridním obracečem fáze (180°) a za krystalem opět spojen. Pokud v uspořádání nahradíme proměnnou kapacitu dvěma opačně pólovanými varikapy, je možno kompenzaci spojitě ovládat i digitálně.

Postup měření: Do měřicího přípravku se vloží kalibrační odpor 25 Ω s malou paralelní kapacitou 2 až 5 pF a kompenzační kapacitou se naladí minimum napětí kanálu B. Výstupní napětí U_{B25} by mělo být pro zvolené zatížení krystalu poloviční než napětí U_B

$$U_{B25} = U_B/2 \qquad (4.9).$$

Pak zapojíme krystal a generátor naladíme asi 100 kHz pod kmitočet, na němž se má měřit. Kompenzační kapacita se vyladí na minimum výstupní amplitudy, která by měla být v souhlase s nulovou fází. Nakonec se vyladí generátor v oblasti rezonance krystalu na nulovou fázi, čímž se zjistí kmitočet f_r a napětí U_{BK}. Pak platí vztahy (4.3) až (4.6) pro výpočet náhradních parametrů.

5. Technologie zhotovení krystalových jednotek

Prvořadou důležitost při zhotovování krystalových rezonátorů má druh průmyslového způsobu výroby. Konečnému použití je totiž podřízen celkový výběr technologií. Rezonátory s aplikací ve spotřební elektronice, barevných televizorech, mikroprocesorech, charakterizované malými výrobními náklady při hromadné výrobě, se pronikavě liší výběrem surovin a způsobem výroby od stabilních jednotek pro radiokomunikace nebo zvlášť stabilních krystalů pro kmitočtové standardy. Ceny konečných výrobků se pak pohybují od desítek korun až k desítkám stovek za krystalovou jednotku.

Pro dotvoření celkové informace o KJ bude v této části stručně popsán přehled způsobů zpracování rezonátorů v jednotlivých fázích výroby s přihlédnutím k jejich použití.

Postup výroby je možno rozdělit na tři části: předvýrobu, montáž a kontrolu parametrů.

5.1 Předvýroba

Výběr suroviny a dělení křemenných monokrystalů. Převážná část piezoelektrických rezonátorů je dnes vyráběna z křemene. Používání ve vodě rozpustných materiálů je prakticky již minulostí a využívání nových typů monokrystalů (jako lithium niobátu a tantalátu, berlinitu, germanium vizmutu) je teprve v počátcích. V současné době jsou z 90 % používány syntetické křemenné monokrystaly pěstované hydrotermální syntézou. Zbytek suroviny je přírodní křemen, používaný hlavně tam, kde je nedostatek kvalitního syntetického materiálu.

Přírodní monokrystaly se vybírají po jejich opískování a leptání v kyselině fluorovodíkové nebo v roztoku kyselého fluoridu amonného, které zviditelní rozhraní optických a elektrických srůstů a tím vymezí části použitelné pro další zpracování.

U syntetických materiálů je kvalita suroviny jednak výrobcem přímo udávána (a to jakostí Q a množstvím mřížkových poruch přípustných pro zaručovanou kvalitu v kubickém centimetru), jednak je užitečné vymezit pomocí infračervené spektroskopie oblasti se zvýšenou koncentrací inkluzí a vyřadit je z dalšího zpracování.

Vybrané monokrystaly se tmelí (vhodně orientované) na podložky a dělí se na pilách na bloky. Bloky se rozřezávají na destičky buď diamantovými řeznými kotouči na pilách nebo v poslední době na katrech ocelovými planžetami a vodní suspenzí brusiva.

Kontrola a korekce orientace. V průběhu řezání i po jeho ukončení je nutno přesně dodržet a kontrolovat orientaci bloků a destiček vzhledem ke krystalografickým osám. Ke zjištění orientace se používají rentgenové goniometry, u nichž se zpravidla využívá monochromatického záření $K\alpha_1$ mědi o vlnové délce $\lambda = 0{,}15418$ nm, které dopadá na vhodnou mřížkovou rovinu orientované destičky a odráží se pod úhlem Θ, daným Braggovou rovnicí

$$k\lambda = 2d\,\sin\Theta, \qquad (5.1),$$

kde k je celé číslo, d vzdálenost mřížkových rovin. Odražené záření je indikováno Geiger/Müllerovým detektorem.

Aby bylo možno stanovit polohu mřížkové roviny a tím i roviny řezu destičky, kontroluje se orientace ve dvou směrech, zpravidla na sebe kolmých, a ze zjištěných údajů je možno výpočtem stanovit směr a úhlovou velikost korekčního broušení.

Orientace bloků se obvykle upravuje ručně, přičemž zkušený pracovník při průběžné kontrole na goniometru vhodným tlakem dobrušuje na otáčivém brusném talíři bloky požadovaným způsobem. Orientace destiček se upravuje na korektoru úhlů, kdy je pro jednotlivé kusy definovaným způsobem natáčen držák destičky proti diamantovému kotouči, který kývavým pohybem přejíždí podél ní a broušením koriguje rovinu destičky.

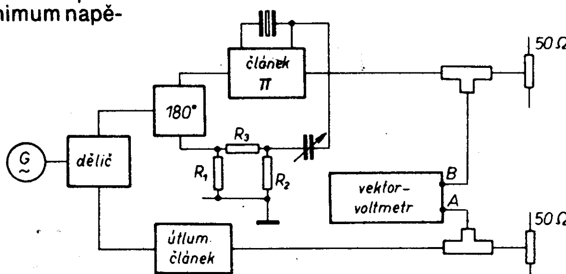
Podle typu krystalové jednotky je vyžadována přesnost orientace v tolerancích ±10″, 30″, 1′, 2′, 5′ a to buď jako odklon roviny řezu destičky od jedné osy (přičemž odklon od druhé může být mnohem větší, např. ±10′), nebo obě odchylky jsou požadovány ve stejně přísných tolerancích.

Kontrola a úprava orientace jsou práce velmi náročné na pečlivost, na čistotu prostředí a měřených polotovarů, zkušenost pracovníků, z hlediska přesnosti obzvláště na konstrukci a spolehlivost goniometrů a korektorů. Na výsledcích orientace závisí v převážné míře teplotní průběh kmitočtu krystalových jednotek.

Opracování povrchu výbrusů. Povrch výbrusů se postupně brousí brusivy se zmenšující se velikostí zrn, případně po konečném jemném broušení se povrch opticky nebo chemicky leští, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů, popř. tloušťky výbrusu.

Povrch se brousí na optických brusných strojích. Výbrusy jsou přitmeleny na rovných křemenných deskách. V poslední době se však přechází na planetové broušení s výbrusy volně uloženými v ozubených maskách, planetách, obíhajících a otáčejících se mezi dvěma ocelovými rovinnými deskami.

Optické leštění, nutné pro dosažení kvalitního povrchu velmi stabilních KJ s rezonátory na vyšších harmonických, se provádí na optických strojích, popř. na planetových bruskách pomocí oxidu žele-



Obr. 13. Uspořádání pro pasivní měření krystalových rezonátorů do 500 MHz

zitého nebo ceričitého. Při tom se vytváří tzv. křemičitý gel, který v poslední fázi leštění zaplňuje povrchové nerovnosti a vytváří transparentní, opticky dokonalý povrch.

Při chemickém leštění v tzv. selektivních leptacích lázních se postupně vyrovnává relief jemně broušeného povrchu a odstraňují se nežádoucí narušené vrstvy, povrch se blíží transparentnímu a z hlediska své stability představuje maximum dosažitelnosti.

Při postupném broušení se odstraňují narušené vrstvy po předchozím opracování hrubším brusivem. Obvykle se používá tento postup: broušení brusivem se zrněním ~30 μm, odbroušení tloušťky 50 μm z každé strany brusivem ~20 μm, odbroušení 25 μm brusivem ~10 μm a konečné odbroušení 12 μm brusivem 5 až 7 μm. Před chemickým leštěním je vhodné použít ještě jemnější konečné brusivo s velikostí zrn 3 až 5 μm. Při optickém leštění se „odlešťuje" tloušťka kolem 3 μm, při chemickém leštění se odleptává i 15 až 20 μm z každé strany výbrusu.

Optické leštění je operace poměrně zdlouhavá, vyžaduje zkušené pracovníky, je tedy nákladná. Chemické leštění je z hlediska konečných parametrů stability kmitočtu velmi příznivé, časově méně náročné, ale vyžaduje dodržovat přísnou technologickou kázeň. Podmínkou dokonalého optického a zvláště chemického leštění je konečné jemné broušení bez jakýchkoli povrchových škrábů. Proto je tak nutné čisté prostředí s definovanou prašností.

Vedle planparalelních výbrusů kruhových a pravoúhlých jsou pro nižší kmitočty tloušťkově střižně kmitajících rezonátorů používány výbrusy silně fasetované, plankonvexní nebo i čočkovité (bikonvexní). Tyto úpravy zajišťují soustředění kmitů do centrální oblasti, nezávislost tlumení na okrajovém uchycení a tím zvýšení Q. Kulové plochy se brousí a leští buď ručně nebo strojně v kovových miskách, jednotlivě pro každý výbrus. Vedle individuálního fasetování se v současné době používá i hromadné omílání v otáčivých podélných válcích s brusivem.

Při vytváření těchto ploch je podmínkou zachování osy kulové plochy rovnoběžné s osou výbrusu kolmou k tloušťce destičky a to s přesností 2'.

Ze všech těchto skutečností je zřejmé, že zhotovení dokonale leštěného plankonvexního výbrusu s orientací v toleranci 20" bude velmi nákladné a v porovnání s cenou výbrusu broušeného na planetových bruskách, hromadně fasetovaného, s orientací ±3', půjde přinejmenším o řádový rozdíl.

5.2 Vytváření elektrod, montáž, nastavení, pouzdření

Elektrodový systém se dnes nejčastěji vytváří vakuovým napařením kovových vrstev na výbrus. Výbrusy jsou umístěny ve vhodně tvarovaných maskách v napařovací aparatuře a při dosažení vakua 10^{-4} až 10^{-6} MPa (podle typu rezonátoru) se odpaří zlato, stříbro nebo hliník (záleží rovněž na typu a konečném určení rezonátoru), případně vhodná kombinace těchto či dalších ušlechtilých kovů.

Po pokovení se rezonátory zpravidla temperují při teplotách v rozmezí od 200 do 350 °C, v závislosti na užitém kovu a tloušťce, čímž se dosahuje stabilizace kovové vrstvy. Temperování často probíhá současně s vypalováním vodivého tmelu, jímž se upevňují rezonátory do držáků a vodivě spojují s jeho vývody.

Po montáži se měří a nastavuje rezonanční kmitočet, popřípadě u nízkofrekvenčních rezonátorů také parametry dynamické indukčnosti. Kmitočet a indukčnost u nf rezonátorů se nastavují dobroušením na patřičné rozměry, případně úpravou velikosti elektrody.

U rezonátorů vysokofrekvenčních, kmitajících tloušťkově střižně, se změny kmitočtu dosáhne zvětšením hmotnosti elektrody. V minulosti se toho dosahovalo umístěním rezonátoru do prostoru s jódovými parami, kde se vytvářela vrstvička jodidu stříbrného. V současné době se kmitočet upravuje téměř výlučně individuálním napařením příslušného kovu na plochu elektrody ve vakuu. V obou případech následuje po této kalibraci kmitočtu temperování, které stabilizuje pokovenou část elektrod.

Krystaly se kalibrují za současného měření kmitočtu a přesnost nastavení bývá obvykle ±1 až $1{,}5 \cdot 10^{-5}$. Indukčnost u nf rezonátorů lze nastavit od 2 do 10 % podle typu KJ.

Na konečné nastavení kmitočtu má však podstatný vliv i způsob pouzdření. Dnes se jedná o uzavírání vesměs vakuově těsné a buď do kovových pouzder nebo do skleněných kulatých či plochých baněk. Kovové držáky jsou v převážné většině buď typu HC s drátovými nebo kolíkovými vývody, viz tab. 3, a jsou uzavírány buď pájením víčka cínovými pájkami nebo jeho přivařením impulsním odporovým svarem, příp. tlakovým studeným svarem. Vnitřní prostor je plněn inertním (netečným) plynem s definovanou vlhkostí nebo je evakuován. Skleněná pouzdra jsou jednak rozměrovými ekvivalenty plochých kovových pouzder HC, jednak mají formu skleněného válce různého průměru. Skleněný výlisek s drátovými nebo kolíkovými vývody je s baňkou spojován buď roztavením v plameni kyslík – zemní plyn nebo vysokofrekvenčním ohřevem přes kovový pásek zalisovaný ve spodku držáku za současného (případně následného) vyčerpání vzduchu z prostoru pouzdra.

Způsob pouzdření (a typ pouzdra) je závislý na požadované stabilitě kmitočtu. Pokud bychom seřadili technologie pouzdření podle tohoto požadavku, pak by KJ s nejmenší stabilitou kmitočtu byly pouzdřeny impulsním odporovým svarem, následovalo by spojení cínovými pájkami, pak zátav skla plamenem, vf zátav a konečně špičkových parametrů stability kmitočtu se dosáhne použitím studeného tlakového svaru kovového pouzdra (viz obr. 3).

6. Krystalové oscilátory

V současné době se ve světě každoročně vyrábějí milióny oscilátorů pracujících na kmitočtech od desítek kHz až po stovky MHz. Bez krystalových oscilátorů, zajišťujících potřebnou stabilitu kmitočtu nosných vln, není myslitelný provoz radiových komunikací. Krystalové oscilátory s velkou stabilitou kmitočtu ve funkci tzv. hodinových nebo taktovacích (clock) oscilátorů koordinují časové diagramy komunikačních systémů.

Kmitočtové standardy jsou využívány jako reference v čítačích kmitočtu, v digitálních systémech, mikroprocesorových zařízeních, časových etalonech, radiolokaci, měřicích fyzikálních veličin.

Krystalové oscilátory jsou dnes potřebné ve většině nových elektronických zařízení investiční i spotřební elektroniky, avšak v neposlední řadě i v přístrojích radioamatérské praxe.

Tab. 3. Držáky používané pro KJ

	Základní rozměry (◣ technologie k.p. TESLA HK)		Označení držáku: odporový zátav	pájený zátav	studený zátav	skleněný vf zátav	skl. zátav-plamen
1	držák „H" (max 19,2; max 8,9; 12,4±0,2)	vývod kolíky	HC-48/U	KK 2/19 ◣ HC-6/U	HC-36/U	◣ SD 2/19	
		dráty	HC-51/U	HC-33/U	HC-47/U		
2	držák „L" (max. 11,5; max 4,6; max 13,45; 4,9±0,15)	kolíky	HC-50/U	HC-25/U	HC-42/U		
		dráty	◣ HC-49/U	KD 2/13 ◣ HC-18/U	HC-43/U		◣ SD 2/13
3	(max 3,3; max 8; max 9; 3,75±0,2)		◣ HC-45/U				
4	(4,8±0,1; 5,2±0,25; 2±0,1; max ⌀ 9,7; L; L = 24 až 78)						◣ SD 2/L-9 SD 4/L-9 (tužkový)
5	(11,9; 11,9±0,1; max ⌀ 22,2; L; L = 36 až 100)						SD 4/L-22 (Noval)
6	(5,1±0,2; 5,1±0,2; 10,15±0,2; 10,15±0,2; max ⌀ 14,8; max ⌀ 16,1)		◣ TO-8				

Existuje velké množství druhů krystalových oscilátorů (KO), které je možno rozdělit do několika skupin podle různých kritérií.

1. Rozdělení podle kmitočtového rozsahu:
- KO nízkofrekvenční (10 kHz až 1000 kHz),
- KO vysokofrekvenční (1 MHz a výše).

2. Rozdělení podle stability kmitočtu (obvykle se rozumí dlouhodobá stabilita kmitočtu):
- KO velmi stabilní, $\Delta f/f < 1.10^{-9}$/den,
- KO se zlepšenou stabilitou $\Delta f/f = \pm 1.10^{-7}$/rok,
- KO standardní, $\Delta f/f = \pm(1$ až $2).10^{-6}$/rok.

3. Rozdělení podle způsobu teplotní stability kmitočtu:
- KO bez termostatu – standardní (SPXO – single package crystal oscillator),
- KO teplotně kompenzované (TCXO – temperature control crystal oscillator),
- KO termostatované (OCXO – oven control crystal oscillator).

4. Rozdělení podle speciálního použití:
- KO s kmitočtem napěťově řízeným pro přímou kmitočtovou modulaci nebo pro fázové závěsy (VCXO – voltage control crystal oscillator),
- KO několikakanálové,
- KO miniaturního hybridního provedení (MXO – miniature crystal oscillator).

Pro zhotovení KO je možno vybírat ze značného množství známých zapojení, avšak z hlediska praktických zkušeností je vhodné používat pouze několik základních.

Znalosti vlastností KJ jsou při návrhu KO nutné. Oscilátor tvoří uzavřený smyčkový systém, složený ze zesilovače a zpětnovazebního obvodu s KJ. Amplituda oscilací se zvětšuje až do stavu, kdy nelinearita systému zmenší smyčkový zisk a amplituda se ustálí na konstantní velikosti. Kmitočet oscilátoru se ustálí tak, aby fázový posuv v uzavřené smyčce byl 0° nebo 360°. KJ, která má reaktanční charakter (reaktance je závislá na kmitočtu, viz obr. 9), má pak ve zpětné vazbě dominující vliv na kmitočet oscilátoru v porovnání s jeho ostatními obvodovými prvky. Je proto důležité udržet těmito prvky konstantní reaktanci KJ na daném kmitočtu a tak zajistit jeho co největší stabilitu. Vlastní kmitočet oscilátoru se nastaví tak, aby KJ s připojenými reaktancemi obvodových prvků vykazovaly potřebný fázový posuv. Druhou podmínkou oscilací je zisk větší než jedna ve smyčce.

7. Kmitočtová stabilita oscilátoru

Pojem „kmitočtová stabilita" má široký obsah. Ve svém nejvšeobecnějším významu znamená stupeň stálosti kmitočtu oscilátoru za určitých podmínek. V souvislosti s krystalovými oscilátory rozeznáváme několik různých druhů kmitočtové stability:
- kmitočtová stabilita závisející na změnách vnějších podmínek jako je teplota, napájecí napětí, zatěžovací impedance, tlak, gravitace, záření atd.,
- dlouhodobá stabilita kmitočtu, dlouhodobý posuv kmitočtu vlivem „stárnutí" KJ,
- krátkodobá kmitočtová stabilita, zahrnující kmitočtové změny způsobené fluktuacemi fáze.

Dále sem patří pojem kmitočtová přesnost (termín přesnost nastavení kmitočtu), který znamená skutečný kmitočet oscilátoru.

Číselně se kmitočtová stabilita vyjadřuje jako poměr rozdílu kmitočtu při mezích okolních vlivů ku jmenovitému kmitočtu. Okolní vlivy pak nazýváme parametrem stability.

7.1 Stabilita kmitočtu ovlivněná vnějšími podmínkami

Vliv okolní teploty na kmitočet oscilátoru je dán především kmitočtovými změnami samotné krystalové jednotky (viz kap. 2). K těmto změnám dále přistupují teplotní změny hodnot obvodových součástek oscilátoru. Projevují se vždy, jde však o míru jejich vlivu vzhledem k druhu (jakosti) oscilátoru. U standardních oscilátorů bude tento vliv jistě větší než u normálového kmitočtového etalonu. Ostatní vlivy, jako je změna napájecího napětí nebo změna zatěžovací impedance na kmitočet oscilátoru, působí přes reaktanční změny napěťově závislých prvků nebo přes změnu reaktančních složek budicího prvku (tranzistor, FET, dioda). Obecně řečeno je vliv je tím větší, čím je těsnější vazba obvodu na KJ.

7.2 Dlouhodobá stabilita kmitočtu

Tento pojem vyjadřuje změny kmitočtu oscilátoru během dlouhodobého provozu.

Změny kmitočtu jsou způsobeny kromě vlastní KJ i dlouhodobou změnou hodnot jednotlivých součástek obvodu oscilátoru (kondenzátory, termistory, tranzistory, varikapy . . .). Z této veličiny jsou vyloučeny krátkodobé posuvy kmitočtu a náhodné fluktuace. Doba, po kterou se dlouhodobá stabilita vyhodnocuje, je 1 den, 1 týden, 10 dní, měsíc, rok.

7.3 Krátkodobá kmitočtová stabilita

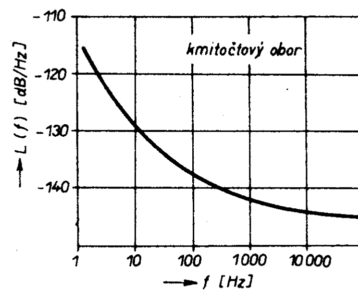
Pojem „krátkodobá kmitočtová stabilita" se vztahuje na změny kmitočtu oscilátoru, které jsou výsledkem vzájemného působení požadovaného signálu a nežádoucích složek nebo šumu; neuvažují se změny kmitočtu vlivem stárnutí nebo okolní teploty.

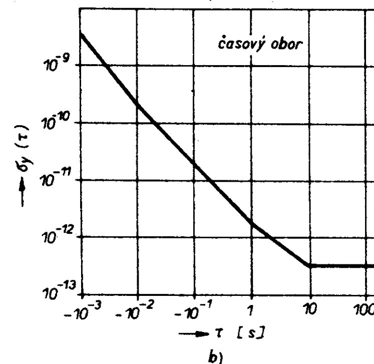
Krátkodobá kmitočtová stabilita se určuje buď v časové doméně (oblasti) jako okamžitá relativní odchylka kmitočtu během krátkého časového intervalu (10^{-4} až 100 sekund) nebo jako fázový šum v doméně (oblasti) kmitočtové, jako poměr signál-šum v určité kmitočtové vzdálenosti od nosné (ofset), pro jedno postranní pásmo (vyjadřuje se v dB/Hz – ofset 100 Hz, 1 kHz, . . .).

Krátkodobá stabilita se v časové doméně zjišťuje statistickými metodami v zásadě tak, že se změří n vzorků kmitočtu během průměrovacího času τ a spočítá se standardní odchylka ze vztahu

$$\sigma^2_n(\Delta f) = \frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}(f_i)^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_i\right)^2\right]$$

Propracovanou metodou zjišťování krátkodobé stability, normalizovanou v IEC, je tzv. Allanova variace (rozptyl). Spočívá ve změření N následujících dvojic kmitočtu během určitého časového intervalu. Kmitočtová stabilita se vypočítá ze vztahu





Obr. 14. Fázový šum (a) a krátkodobá stabilita (b) krystalového oscilátoru

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N}(f_{2i} - f_{2i-1})^2},$$

kde τ je měřicí čas pro každý kmitočet s vyloučením mrtvého času mezi čtením, N je počet měřených párů kmitočtu.

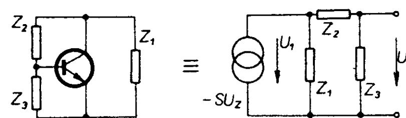
Mezi krátkodobou stabilitou v časové a kmitočtové oblasti existuje korelace [3]. Intervalu $\tau = 0{,}1$ s odpovídá fázový šum na ofsetu 10 Hz, $\tau = 0{,}01$ s odpovídá fázový šum na ofsetu 100 Hz. Z jednoho údaje lze usuzovat na druhý a naopak. Typické průběhy těchto závislostí jsou na obr. 14. Podle jakosti oscilátoru a z výrobních důvodů se někdy zaručuje pouze jeden typ krátkodobé stability. Oscilátory pro radiokomunikace mají zaručovaný parametr krátkodobé stability v doméně časové nebo obojí.

8. Základní vlastnosti krystalových oscilátorů

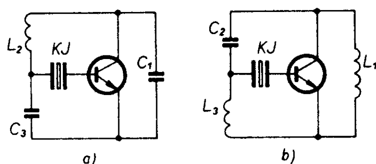
8.1 Hlavní skupiny krystalových oscilátorů

Krystalový oscilátor je obvod, ve kterém je použita krystalová jednotka jako velmi jakostní selektivní člen. Podle toho, do kterého místa oscilátorového obvodu je zapojena, rozeznáváme zhruba tři skupiny krystalových oscilátorů.

Do *1. skupiny* patří oscilátory, v nichž je krystalová jednotka zapojena místo jedné ze tří impedancí čtyřpólu (obr. 15), upravující fázové poměry obvodu tak, aby kmital. Tato zapojení nazýváme tříbodová a krystal v nich kmitá na kmitočtu mezi



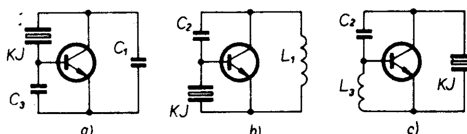
Obr. 15. Náhradní obvod oscilátoru



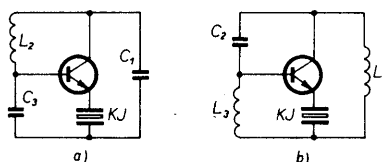
Obr. 16. Tříbodové zapojení oscilátoru

sériovou a paralelní rezonancí [8]. Charakter jeho impedance je vždy indukční, nikoli činný (viz obr. 16). Zapojení podle obr. 16a se nazývá „tříbodové kapacitní", zapojení podle obr. 16b, c „tříbodové indukční", všeobecně se těmto oscilátorům říká „oscilátory pro paralelní rezonanci", což je však poněkud nepřesné.

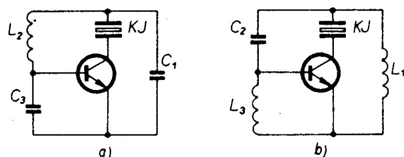
Do *2. skupiny* patří oscilátory, u nichž se KJ vkládá do obvodu záporné zpětné vazby. Svým velmi selektivním charakterem pak určuje průběh kmitání (obr. 17, 18, 19). Oscilátor kmitá na kmitočtu mini-



Obr. 17. Oscilátor s KJ v obvodu záporné zpětné vazby v bázi



Obr. 18. Oscilátor s KJ v obvodu záporné zpětné vazby v emitoru



Obr. 19. Oscilátor s KJ v obvodu záporné zpětné vazby v kolektoru

málního odporu KJ, tj. v blízkosti sériové rezonance, prakticky v sériové rezonanci KJ. Tyto oscilátory kmitají i tehdy, nahradíme-li KJ činným odporem (rezistorem) – ekvivalentním ESR.

Ve *3. skupině* se krystal vkládá do obvodu kladné zpětné vazby. Zapojení bývají obvykle dvoutranzistorová, mohou být však i jednotranzistorová, (obr. 20). KJ v nich rovněž kmitá na „sériové rezonanci", přesně řečeno v blízkosti sériové rezonance na kmitočtu minimálního odporu KJ.

8.2 Podmínky kmitání

Podmínky kmitání lze odvodit ve velmi zjednodušené formě z náhradního schématu (obr. 15), v němž zanedbáváme všechny parazitní impedance. To si při jednoduchém rozboru krystalového oscilátoru můžeme dovolit, protože neznáme přesné parametry náhradního obvodu KJ. Pro vyšší kmitočty též neplatí úplně přesně náhradní schéma KJ tak, jak bývá uváděno. Proto je celkem zbytečné pokoušet se o přesný výpočet. Naopak nelze také, na základě přesného výpočtu a určení náhradních parametrů KJ, zhotovit požadovaný krystal. Početními metodami se dnes však zjišťují jiné, velice důležité zákonitosti. Nejdůležitější z nich jsou různé citlivosti kmitočtu oscilátoru na změny hodnot jednotlivých prvků (tzv. citlivostní a toleranční analýza). Z nich se pak dají určovat přímo vlivy na stabilitu oscilátoru.

V praktickém návrhu se tedy spokojíme se stanovením amplitudové podmínky kmitání, podle které se vybere vhodný tranzistor a dva zbývající prvky v přenosovém čtyřpólu. Podmínky kmitání jsou tyto:

a) podmínka vyrovnání fáze: imaginární část přenosu rozpojené smyčky oscilátoru

$$\mathrm{Im}\, A\,(\mathrm{j}\omega)\,\beta\,(\mathrm{j}\omega) = 0;$$

z této podmínky lze určit přibližně kmitočet oscilátoru;

b) podmínka amplitudová: reálná část přenosu rozpojené smyčky oscilátoru

$$|A\,(\omega)\,.\,\beta\,(\omega)| \geqq 1.$$

V případě obr. 15 platí pro přenos:

$$\beta\,(\mathrm{j}\omega)A\,(\mathrm{j}\omega) = \frac{U_z}{U_1} = -Y_{21}\frac{Z_1Z_3}{Z_1+Z_2+Z_3}$$

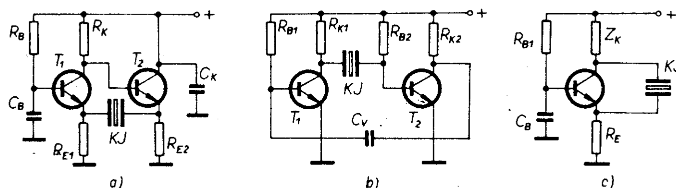
8.3 Metody návrhu

V profesionální praxi se užívají zhruba tři metody návrhu, z nichž každá má svou výhodu i nevýhodu. Pro přehled je zde uvedeme [10]. *První metoda* je experimentální – vyžaduje nalézt a přizpůsobit obvod oscilátoru tak, aby vyhověl zadání. Jedná se prakticky o velké množství laboratorních zkoušek různých typů oscilátorových obvodů. Metoda předpokládá značnou praxi a velké zkušenosti.

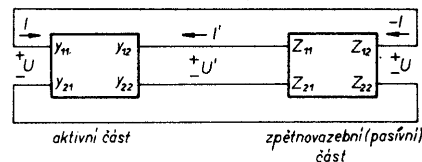
Druhá metoda používá výpočet oscilátoru použitím parametrů *Y* jako představitelů aktivních prvků a parametrů *Z* jako reprezentantů zpětnovazební (pasívní) části obvodu [10]. Z obr. 21 lze určit soustavu rovnic, jejichž řešení je podmíněno komplexní rovnicí

$$y_{21}Z_{21} + y_{11}Z_{22} + y_{22}Z_{11} + y_{12}Z_{12} + \Delta y\ \Delta Z + 1 = 0,$$

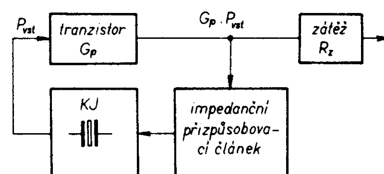
kde $\Delta y = y_{11}y_{22} - y_{21}y_{12}$,
$\Delta Z = Z_{11}Z_{22} - Z_{21}Z_{12}$,
z níž po oddělení reálné a imaginární části vyplývají amplitudová a fázová podmínka kmitání.



Obr. 20. Oscilátory s KJ v sériové rezonanci v obvodu kladné zpětné vazby; a) oscilátor Butlerův, b) oscilátor Hegnerův, c) oscilátor „1/2 Butler"



Obr. 21. Oscilátor: blokové zapojení



Obr. 22. Model oscilátoru pro řešení pomocí výkonových poměrů

Třetí metoda návrhu využívá analýzy výkonového zisku (Power Gain Method of Design) [10]. Podmínka fázová je vzata experimentálně a výkonový zisk tranzistoru musí dostatečně dotovat výstupní výkon, výkonové ztráty a vstupní výkon tranzistoru (obr. 22)

$$(P_{\mathrm{vst}}G_{\mathrm{p}}) = P_{\mathrm{výst}} + P_{\mathrm{vst}} + P_{\mathrm{zt}},$$

kde P_{vst} je vstupní výkon tranzistoru,
$P_{\mathrm{výst}}$ výstupní výkon na vnější zátěži,
P_{zt} všechny výkonové ztráty v oscilátorovém obvodu,
G_{p} výkonový zisk tranzistoru.

Návrh spočívá v určení výkonového zisku tranzistoru a výpočtu zpětnovazebního článku z výkonových poměrů.

8.4 Výběr tranzistorů

Tranzistory pro oscilátory se vybírají podle

a) teplotních požadavků,
b) kmitočtových požadavků,
c) požadavku výstupního výkonu,
d) vstupní, výstupní a zpětné impedance,
e) výkonového zisku,
f) šumu (nízkofrekvenčního, bílého),
g) stálosti parazitních reaktancí.

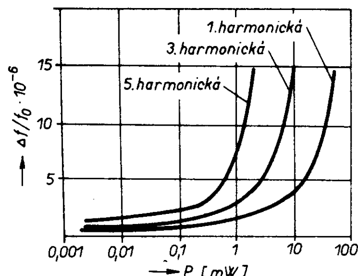
Používají se jak bipolární tranzistory, tak tranzistory řízené polem, ale i integrované obvody, zejména logické. Rozhodující pro výběr je mezní kmitočet f_T tranzistoru, ten ovlivňuje fázový posuv tranzistoru ve smyčce při pracovním kmitočtu. Je žádoucí vybírat tranzistor s mnohem vyšším mezním kmitočtem, než je pracovní kmitočet oscilátoru. Ne vždy je možné tento požadavek dodržet. Požaduje-li se oscilátor s malým šumem neboli s velkou krátkodobou stabilitou, pak se volí kompromis a použije se tranzistor s nižším f_T. Rovněž je nutné minimalizovat vliv parazitních reaktancí na obvod KJ. Proto je žádoucí užívat tranzistory s malými vstupními a výstupními kapacitami.

8.5 Buzení krystalu v oscilátoru

Tímto pojmem se rozumí výkon rozptýlený na KJ při kmitání. Velikost buzení KJ v oscilátoru ovlivňuje dlouhodobou stabilitu, krátkodobou stabilitu, pracovní kmitočet a v neposlední řadě schopnost nasazování oscilací. Jedná se tedy o velmi důležitý parametr. Zjišťuje se tak, že se vypočítá výkon z naměřeného vf proudu krystalem a jeho odporu podle vztahu

$$P = I^2_{\mathrm{vf}}R.$$

V katalogu výrobců KJ jsou udávány max.



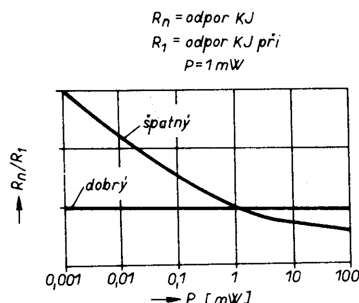
Obr. 23. Relativní změna kmitočtu KJ v závislosti na úrovni buzení

výkony, které jednotlivé typy KJ mohou bez poškození poskytnout.

Horní hranice budicí úrovně je přibližně 10 mW. V závislosti na harmonickém módu, velikosti elektrod a mechanických vlastnostech křemenné destičky je průběh kmitočtu v závislosti na buzení na obr. 23.

Praktická velikost buzení KJ v oscilátoru se volí pokud možno co nejmenší. Platí zásada, čím menší buzení, tím lepší dlouhodobá stabilita. Avšak i zde se volí kompromisy, protože krátkodobá stabilita i šum jsou lepší při větším buzení.

V činnosti KJ v oscilátoru se projevuje nepříjemný jev, u nás známý pod pojmem „nakmitávání". V zahraničí je tento jev znám pod pojmem „second drive of level". Znamená to, že krystalový oscilátor, který není dlouho v činnosti (např. je ve skladu) se po zapnutí nerozkmitá. KJ vyžaduje k rozkmitání větší buzení, které lze po nasazení oscilací několikanásobně zmenšit. Je to vlastnost KJ, která nemá závislost ESR na buzení konstantní, ESR se u ní zvětšuje při zmenšování buzení (obr. 24). Příčiny jsou dnes známé –



Obr. 24. Závislost náhradního odporu KJ na úrovni buzení

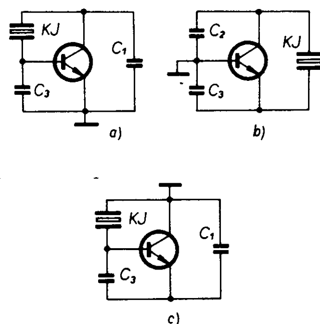
špatná adheze elektrod nebo špatná jakost povrchu rezonátoru, původ je tedy v technologii výroby KJ. Vliv tohoto jevu lze eliminovat použitím automatiky v řízení budicího stupně oscilátoru. Po zapnutí je KJ 5 až 10× více buzena, po nakmitnutí se automaticky buzení zmenší. U jednodušších oscilátorů, u nichž není možné použít automatiku, musí být na KJ větší výkon.

V tab. 4 jsou uvedeny doporučené budicí úrovně KJ v oscilátorech.

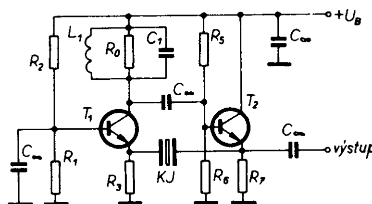
Vliv závislosti buzení na změnu kmitočtu existuje a projevuje se hlavně u vf oscilátorů s miniaturními KJ (držák „L", HC45). Čím menší je průměr krystalového výbrusu, tím větší je i závislost. Přesnost nastavení kmitočtu KJ se vždy udává pro určité buzení. V tranzistorových oscilátorech se za „normální" budicí úroveň považuje výkon 0,1 mW. Z těchto důvodů je žádoucí udržovat konstantní buzení KJ v oscilátoru, v praxi toho lze dosáhnout zavedením automatiky do obvodu oscilátoru.

Tab. 4. Doporučené budicí úrovně KJ v oscilátorech

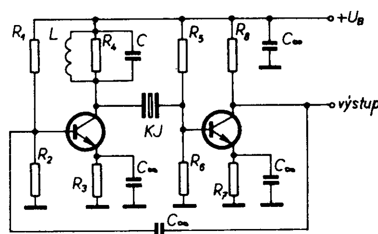
Kmitočet	Držák	Overton	Buzení
1 až 10 MHz	L	1	0,5 až 2 mW
	H	1	
	L	3	
	H	3	
	H	5	100 μW
	NOVAL	3	
	NOVAL	5	
10 až 30 MHz	L	1	1 mW
	H, TO-8	1	1 mW
	L	3	0,5 mW
	H	3	0,5 mW
	H	5	0,5 mW
40 až 200 MHz	L	3	1 mW
	L	5	1 mW
	HC-45	3	200 μW
	HC-45	5	200 μW



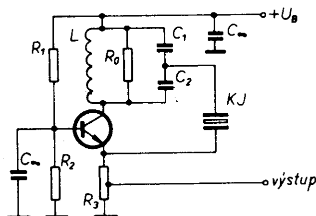
Obr. 25. Základní zapojení oscilátoru typu Pierce (a), Clapp (b), Colpitts (c)



Obr. 26. Základní schéma oscilátoru typu Butler



Obr. 27. Základní schéma oscilátoru typu Hegner



Obr. 28. Základní schéma oscilátoru typu „1/2 Butler", s uzemněnou bází

8.6 Oscilátorové obvody

Je několik základních oscilátorových obvodů, které mají obvykle názvy podle jmen svých objevitelů. Oscilátor Pierceův, Colpittsův a Clappův jsou obvodově stejné, rozdíl je pouze v bodě uzemnění tranzistoru (obr. 25) a ve vlastnostech, kterými se tyto typy od sebe liší.

Pierceův oscilátor má střídavě uzemněný emitor, Colpittsův kolektor a Clappův bázi.

Dalšími klasickými typy jsou oscilátory Butlerův a Hegnerův (obr. 26, 27). Jsou to dvoustupňové oscilátory pro sériovou rezonanci. Oscilátor Butlerův má i jednotranzistorovou modifikaci a nazývá se buď „1/2 Butler" nebo „oscilátor v sériové rezonanci s uzemněnou bází" (obr. 28).

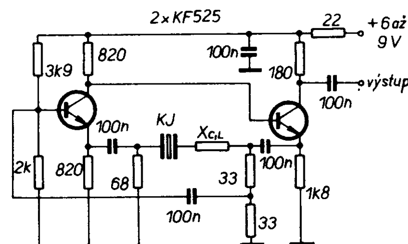
V tab. 5 je podán v souhrnu přehled různých typů oscilátorů s jejich základními vlastnostmi a doporučeními.

9. Nízkofrekvenční oscilátory

9.1 Oscilátory se sinusovým výstupem

Mezi klasická zapojení nízkofrekvenčních oscilátorů patří oscilátory Hegnerův, Butlerův a Pierceův. Vzhledem k velkým náhradním sériovým odporům KJ (kΩ) se doporučují dvoutranzistorová zapojení. Nízkofrekvenční KJ jsou rozměrově větší, jejich teplotní charakteristika závisí na typu řezu (CT, DT, GT) a je poměrně nevýhodná. Výroba nf KJ je na ústupu. Dnes se prakticky v nových aplikacích nepoužívají, signály nízkých kmitočtů se získávají z vysokofrekvenčního krystalového oscilátoru dodatečným dělením kmitočtu. Pro úplnost budou uvedena dvě osvědčená zapojení nf oscilátoru.

Na obr. 29 je zapojení typu Butler, v němž je KJ zapojena mezi emitory. Pro KJ kmitající na vyšší harmonické (over-



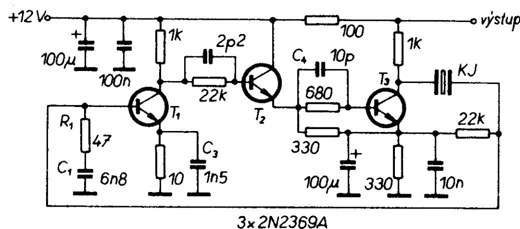
Obr. 29. Butlerův oscilátor se zápornou zpětnou vazbou (f = 100 kHz až 1 MHz)

ton) se používá místo rezistoru R_3 silně zatlumený obvod *LC*. První stupeň oscilátoru pracuje se zápornou zpětnou vazbou. Báze je uzemněna přes část pracovního odporu KJ. Tím se značně zmenšuje nezávislost na parametrech tranzistoru a zlepšují se kmitočtové stability.

Kmitočtový rozsah:	100 kHz až 10 MHz.
Napěťová stabilita:	$\pm 1.10^{-7}/10$ % ΔU_B.
Klidový proud:	5 mA při 6 V.
Reaktance X:	*L, C.*

Na obr. 30 je zapojení nf oscilátoru převzaté z Elektronikschau 8/84. Opět se

Obr. 30. Nf oscilátor – modifikace Hegnerova oscilátoru (f = 1 kHz až 10 MHz)



R_1, C_1 tvoří kmitočtově závislou zpětnou vazbu, jejíž velikost se volí podle velikosti náhradního odporu krystalu.
Kmitočtový rozsah: 1 kHz až 10 MHz – 1. harmonická,
Klidový proud: 15 mA při 12 V, pracuje od 7 V.
Kmitočtová stabilita: $\pm 1.10^{-7}/10$ % ΔU_B.

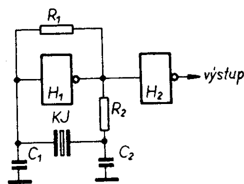
jedná o zapojení více než s jedním tranzistorem a se zápornou zpětnou vazbou. KJ je ve větvi kladné zpětné vazby, jde o modifikaci Hegnerova oscilátoru.

9.2 Hradlové oscilátory

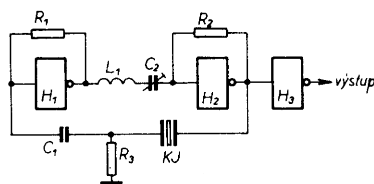
Mezi nízkofrekvenční oscilátory se řadí i tzv. hradlové oscilátory (gate oscilla-

Tab. 5. Přehled oscilátorů a jejich vlastností

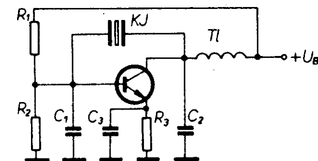
Typ oscilátoru	Doporučený kmitočtový rozsah	Relativní stabilita kmitočtu	Výstupní výkon	Tvar signálu	Oscilační aktivita při velkých parazitních kapacitancích a induktancích	Oscilační aktivita mimo kmitočtové pásmo bez přelaďování oscilátoru	Návrh zapojení	Poznámka
hradlový (gate)	16 kHz až 20 MHz	malá	střední	pravoúhlý	dobrá	velká	středně obtížný	doporučený pro logické úrovně v aplikacích s malými nároky na stabilitu
Pierce	100 kHz až 20 MHz	velká	střední	sínus. špatný pro nf, lepší pro vf nad 3 MHz	velmi dobrá	velká	jednoduchý	doporučený v případě, že KJ nemusí být z jedné strany zemněna, nemožnost zemnění dolaďovacího prvku
Colpitts	1 až 100 MHz	střední	střední	sínus. zkreslený	dobrá	velká	středně obtížný	doporučený v případě zemnění KJ nebo dolaďovacího prvku z jedné strany, praktická jednoduchost, snadnost dolaďování a modulace kmitočtu, snadnost připojování kompenz. obvodů
Clapp	2 až 20 MHz	větší než střední	střední	sínus. zkreslený	dobrá	velká	středně obtížný	totéž co Colpitts, nevhodný pro malá napájecí napětí
impedančně invertující Pierce	20 až 100 MHz	velká	malý	sínus. dobrý	dosti značná	malá	obtížný	doporučený pro nejnáročnější aplikace, kde nelze vykompenzovat parazitní induktance dolaďovacích nebo spínacích prvků
Hegner	1 kHz až 1 MHz	střední	velký	sínus. dobrý	velmi dobrá	velká	jednoduchý	dnes se prakticky nepoužívá, pouze v měřicích oscilátorech pro zkoušení KJ
Butler	10 kHz až 30 MHz	velká	velký	sínus. dobrý	velmi dobrá	velká u aperiodického, malá u laděného	středně obtížný	doporučený pro oscilátory střední třídy i pro normály, vhodný pro speciální účely (VCXO, TCCXO, fázové závěsy), dobrá možnost modulace a kompenzace
1/2 Butler oscil. se SB	20 až 150 MHz	střední	velký	sínus. dobrý	špatná	malá	středně obtížný	dodnes doporučovaný výhradně pro oscilátory VHF. Nutno udržet co nejmenší parazitní induktance a kapacitance
Butler emitorový sledovač	20 až 200 MHz	velká	střední	sínus. dobrý	velmi dobrá	velká	jednoduchý	dnes doporučovaný pro aplikace VHF, pracuje bez parazitních oscilací, malá výstupní impedance



Obr. 31. Základní zapojení nízkofrekvenčního hradlového oscilátoru



Obr. 33. Základní zapojení dvoustupňového hradlového oscilátoru



Obr. 34. Základní zapojení oscilátoru typu Pierce

tors), které jsou zdrojem signálu logických úrovní. Tyto oscilátory mají všeobecně menší stabilitu než dosud probrané oscilátory tranzistorové, nicméně pro svoji jednoduchost se uplatňují zejména v číslicových obvodech. Obvykle se u nich teplotní kompenzace nebo stabilizace nepoužívá. Jako budicí člen se používají hradla TTL nebo pro nízkofrekvenční aplikace (100 kHz) i hradla CMOS.

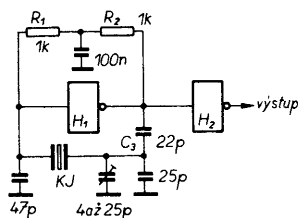
Základní zapojení nf hradlového oscilátoru je na obr. 31. Na výstupu hradla H_1 je rezistor R_2, který upravuje výstupní impedanci. Tato kombinace hradla a rezistoru odpovídá tranzistoru v Pierceově oscilátoru. Hradlo dodává nutný zisk a obrací fázi o 180°. Článek sestavený z kondenzátorů C_1 a C_2 a KJ posouvá fázi o dalších 180°, čímž jsou splněny požadavky na vznik oscilací. KJ spolu s kondenzátory C_1 a C_2 kmitá na paralelní rezonanci.

Jednohradlový oscilátor se však může snadno rozkmitat parazitními kmity. Náchylnost k parazitním oscilacím se projevuje zejména při větších odporech KJ nebo při vyjmutí krystalu z oscilátoru. Často je velmi obtížné úplně vyloučit možnost vzniku těchto samovolných oscilací. Obvykle je nutné vybrat jiné hradlo na čipu. Zapojení podle obr. 31 je vhodné do kmitočtu 1 MHz.

Součástky obvodu pro nf hradlový oscilátor CMOS s IO 4049 podle obr. 31:

Kmitočet	R_1 [MΩ]	R_2 [kΩ]	C_1 [pF]	C_2 [pF]
200 kHz	22	12	120	24
500 kHz	15	10	82	20
1 MHz	10	8,2	68	18

Pro vyšší kmitočty je na hradlu větší fázové zpoždění, proto je nutné nahradit rezistor R_2 kondenzátorem C_3, rovněž je nutné použít obvody TTL (obr. 32).



Obr. 32. Zapojení pro oscilátor v pásmu 10 až 20 MHz

Nebezpečí vzniku vlastních oscilací je značné, zvláště při malých kapacitách kondenzátoru C_1. Je nutné zkoušet obvod s krystalem s maximálním ESR a kapacitu C_1 vhodně vybrat.

Dvoustupňové hradlové oscilátory, přestože mají menší stabilitu než jednohradlové, se používají pro malý počet vnějších součástek (obr. 33). Obvod L_1, C_1 potlačuje vliv nežádoucích kmitů. V případě, že nehrozí nebezpečí parazitního rozkmitání, se vynechává.

Krystal kmitá v blízkosti sériové rezonance. Pro nižší kmitočty se C_1 a R_1 rovněž vynechávají. Všeobecně jsou však tyto oscilátory náchylnější k parazitním oscilacím. Napěťová stabilita je 1 až $3.10^{-6}/\Delta U$ = 0,1 V a je asi 2× horší než u jednostupňového oscilátoru.

V tabulce jsou uvedeny součástky vf hradlového oscilátoru s IO 54LS04.

Kmitočet	R_1 [Ω]	R_2 [kΩ]	R_3 [kΩ]	C_1 [pF]	C_2 [pF]	L_1 [μH]
10 MHz	680.	0,680	100	470	20	15
20 MHz	680	2,2	100	100	10	12

10. Vysokofrekvenční oscilátory

Hlavní místo mezi krystalovými oscilátory v současnosti mají vysokofrekvenční oscilátory. Postupným vývojem a zvyšováním pracovního kmitočtu KJ se zkoušela zapojení nízkofrekvenčních oscilátorů pro účely vysokofrekvenční. Proto se do této kategorie vedle oscilátorů Colpittsova a Clappova řadí též oscilátory Pierceův i Butlerův. Pro kmitočtové pásmo VHF se obvykle používá modifikace oscilátoru Butlerova, ale také oscilátory Pierceův a Colpittsův.

V kmitočtovém pásmu 1 až 30 MHz se doporučují zapojení oscilátoru podle Pierce, Colpittse, Clappa a Butlera, Je to pásmo tzv. normálových oscilátorů o kmitočtech 2,5 MHz, 5 MHz a 10 MHz. V této stati budou uvedena doporučovaná zapojení jednotlivých typových představitelů a zdůrazněny některé aspekty pro jejich návrh a konstrukci.

10.1 Oscilátor Pierceův

Principiální schéma oscilátoru je na obr. 34. Základní fázový posuv 180° se získává na článku složeném z C_1, C_2 a KJ.

Krystal spolu s C_1 a C_2 tvoří rezonanční obvod. Kapacity kondenzátorů C_1 a C_2 určují vstupní a výstupní impedanci tranzistoru a volí se co největší, pokud to dovolí zisk tranzistoru. Kritická podmínka určující kapacitu je $C_1 = C_2 = 2C_L$, kde C_L je mezní zatěžovací kapacita KJ. KJ má indukční charakter a kmitá v paralelní rezonanci. Aby se minimalizoval vliv tranzistoru, musí platit

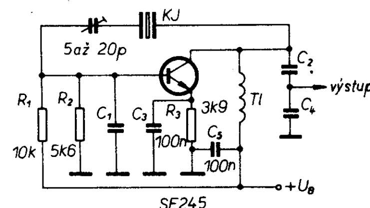
$$|X_1| << \frac{1}{g_{11}}, \quad |X_2| << \frac{1}{g_{22}}.$$

Prakticky se volí kapacity C_1 a C_2 tak, aby oscilátor kmital s dva až třikrát větším náhradním odporem KJ, než je jeho skutečný.

Další podmínkou je, aby

$$|X_1| \leqq \mathrm{ESR}.$$

Kapacita kondenzátorů C_1 a C_2 je omezena ziskem smyčky, z toho tedy vyplývá nutnost používat tranzistor s co největším zesílením. KJ je zatěžována kapacitně, je odtlumována záporným „odporem" C_1 a C_2, který je k ní paralelně připojen. Činitel jakosti Q_{KJ} není podstatně zmenšován, proto má tento oscilátor vynikající stabilitu. Všeobecně je stabilita tohoto oscilátoru o 0,0002 až 0,0005 % horší než stabilita samotné KJ. Nevýhodou je, že amplituda oscilací je citlivá na proud bází tranzistoru. Na obr. 35 je uvedeno typické zapojení Pierceova oscilátoru pro základní harmonickou KJ.



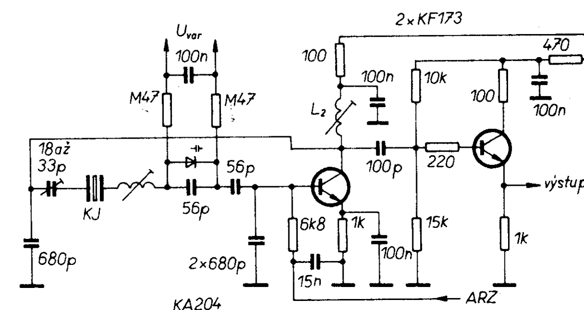
f [MHz]	C_1 [pF]	C_2 [pF]	C_4 [pF]
1až 3	470	270	2 000
3až 10	330	150	1 500
10až 30	180	47	330

Obr. 35. Zapojení oscilátoru typu Pierce pro základní harmonickou KJ

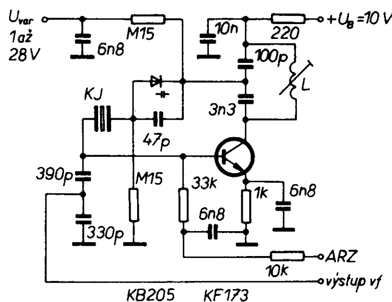
K získání stabilnějšího signálu se používá Pierceův harmonický oscilátor. Mód harmonické je buď 3,5 nebo 7. Oscilační podmínky jsou vytvořeny pouze pro požadovanou harmonickou, pro nižší harmonické módy KJ není splněna fázová podmínka kmitání. Laděný obvod v kolektoru je naladěn mezi žádanou a nejbližší nižší harmonickou. Na požadovaném kmitočtu má charakter kapacitní, na nižší harmonické indukční. Ekvivalentní kapacita je

$$C_2 = \frac{1 - (f/f_0)^2}{\omega^2 L}, \text{ kde } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}.$$

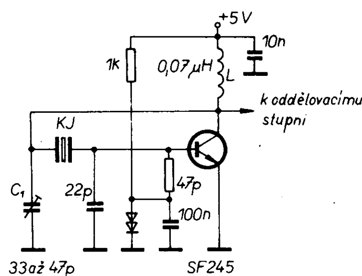
Na následujících obrázcích jsou zapojení harmonických oscilátorů až do pásma VHF [11]. Na obr. 36 je normálový oscilátor 5 MHz, na obr. 37 harmonický oscilátor 20 až 30 MHz, na obr. 38 oscilátor VHF, 100 MHz.



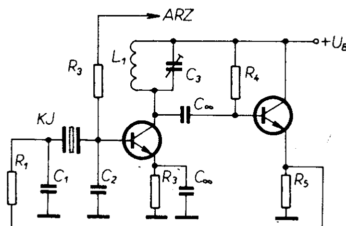
Obr. 36. Normálový oscilátor 5 MHz typu Pierce s oddělovačem. KJ pracuje na 5. harmonické. Hrubě lze oscilátor ladit změnou indukčnosti cívky L_1 (1.10^{-6}), jemně varikapem (1.10^{-7}). Obvod L_2C_1 je laděn na kmitočet asi 3,6 MHz



Obr. 37. Normálový oscilátor 20 až 40 MHz typu Pierce



Obr. 38. Pierceův harmonický oscilátor pro VHF (100 MHz). KJ na 5. harmonické, LC_1 rezonuje na 70 až 80 MHz



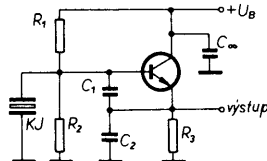
Obr. 39. Zapojení harmonického oscilátoru typu Pierce se zvýšenými nároky na krátkodobou kmitočtovou stabilitu

Vlastnosti oscilátoru se zlepšují přidáním emitorového sledovače, obr. 39. Laděný obvod L_1, C_3 je naladěn na rezonanční kmitočet f_0. Zapojení má větší zisk, což umožňuje použít velké kapacity kondenzátorů C_1 a C_2.

Shrnutí: Pierceův oscilátor patří mezi oscilátory s nejlepší krátkodobou stabilitou. Zatížení KJ v obvodu je kapacitní, takže se její činitel jakosti nezmenšuje. Zapojení je však poněkud složitější, nevýhodou je, že žádný pól KJ nemůže být uzemněn a že je nutná dokonalá stabilizace bázového proudu tranzistoru.

10.2 Oscilátor Colpittsův

Principiální schéma oscilátoru je na obr. 40. Střídavě uzemněný je kolektor a KJ kmitá mezi sériovou a paralelní rezonancí podle velikosti zatěžovací kapacity. Největší rozdíl vzhledem k Pierceově oscilátoru je ve vlivu bázového děliče na KJ. U Colpittsova oscilátoru je více zatížena KJ bázovým děličem, což má za následek zmenšení efektivního činitele jakosti KJ a smyčkového zisku. Za jistých



Obr. 40. Základní zapojení oscilátoru typu Colpitts

podmínek se zvětšuje možnost vzniku relaxací. Oba problémy mohou být redukovány použitím tranzistorů řízených polem (FET).

Kapacita kondenzátorů C_1 a C_2 se volí opět pokud možno co největší, aby se potlačil vliv parazitních reaktancí tranzistoru. Vztah pro určení maximální zatěžovací kapacity C_L je

$$C_{L\,max} \doteq \frac{1}{2\omega_0}\sqrt{\frac{g_{21e}}{ESR}},$$

kde $C_{L\,max} = C_1C_2/C_1 + C_2$ je zatěžovací kapacita,
g_{21e} strmost tranzistoru,
ESR ekvivalentní sériový odpor KJ.

Orientačně lze uvést i závislost C_L na kmitočtu:

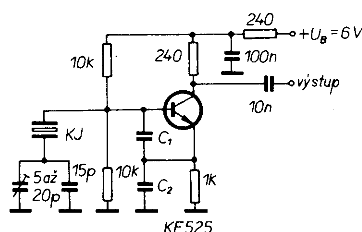
f [MHz]	1 až 2	2 až 5	5 až 10	10 až 15	15 až 20	25
C_1, C_2 [pF]	1000	470	330	220	100	47

Oscilátor nejlépe pracuje, je-li C_2 = (2 až 3) C_1.

Pro KJ, které mají větší ESR, je nutné volit kapacity kondenzátorů menší a naopak. Buzení KJ je nepřímo úměrné kapacitám C_1 a C_2.

Minimální kapacita kondenzátorů C_1 C_2 je dána mezní zatěžovací kapacitou KJ. Jsou-li kapacity kondenzátorů C_1 a C_2 dostatečně velké, lze zařadit do série s KJ reaktanční prvek C_s nebo L_s, kterým lze jemně nastavit kmitočet oscilátoru.

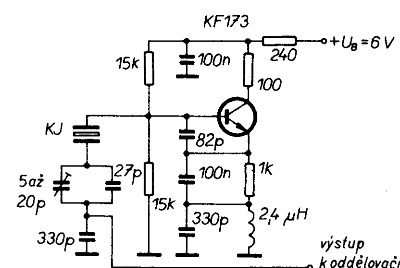
Praktické zapojení oscilátoru Colpitts pro pásmo 10 až 25 MHz je na obr. 41.



Obr. 41. Oscilátor typu Colpitts pro pásmo 10 až 25 MHz, KJ na základní harmonické

Parametry oscilátoru:
výstupní efektivní napětí: 200 až 300 mV, nesinusové,
stabilita v oboru teplot −40 až +70 °C: $\pm 2.10^{-5}$,
napěťová stabilita (± 10 % U_B): 1 až 2.10^{-6},
úroveň buzení KJ (podle druhu KJ a ESR): 1 až 5 mW.

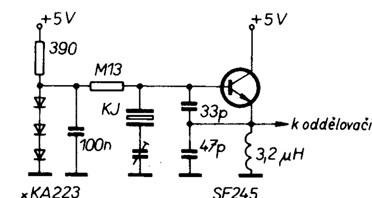
Vyšší kmitočty nebo lepší stabilita se získávají použitím harmonického oscilátoru. Žádané harmonické kmity se budí laděným obvodem (místo kondenzátoru C_2, podobně jako u Pierceova oscilátoru). Obvod se ladí na kmitočet mezi žádanou a nejbližší nižší harmonickou. Pro nižší kmitočty má tento obvod indukční charakter a oscilátor nemůže kmitat. Zapojení harmonického oscilátoru je na obr. 42. V některých případech lze použít aperio-



Obr. 42. Harmonický oscilátor 10 MHz typu Colpitts. KJ na 3. harmonické

dický oscilátor, avšak KJ musí mít na žádané harmonické (obvykle třetí) menší odpor než na základní. Toto zapojení je pro svoji jednoduchost velmi oblíbené zvláště v amatérské praxi, avšak ne každý krystal splňuje výše uvedenou podmínku.

Colpittsův oscilátor se v poslední době prosazuje až do oblasti kmitočtu VHF, tj. do 100 MHz, zejména pro svoji jednoduchost [11]. Příkladem je zapojení na obr. 43.

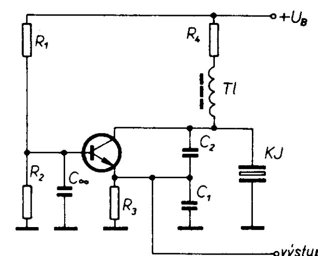


Obr. 43. Oscilátor VHF typu Colpitts pro 100 MHz

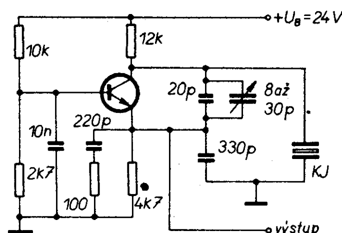
Shrnutí: U Colpittsova oscilátoru se volí co největší kapacita kondenzátorů děliče. Pro dobrou krátkodobou stabilitu oscilátoru je nutné volit co největší odpory rezistorů děliče báze nebo napájecího rezistoru obvodu báze, aby byla KJ co nejméně zatěžována. Oscilátor nejlépe pracuje, je-li C_1 = = (2 až 3) C_2. V praktickém zapojení je možné jeden pól KJ uzemňovat.

10.3 Oscilátor Clappův

Oscilátor Clappův je tříbodový oscilátor se střídavě uzemněnou bází tranzistoru. KJ pracuje s indukčním charakterem v paralelní rezonanci. Zpětnovazební článek složený z kapacitního děliče C_1 a C_2 a KJ posouvá fázi o 180°, tranzistor též o 180°. Kapacity kondenzátorů děliče se opět volí co největší, jako u předchozích typů. Všeobecně platí, že kapacita C_1 a C_2 by měla být taková, aby v obvodu ještě kmital krystal s 2 až 3× větším ESR, než ve skutečnosti má. Principiální zapojení Clappova oscilátoru je na obr. 44. Největší nevýhodou oscilátoru je relativně malá výstupní impedance tranzistoru, která značně zmenšuje činitele jakosti KJ. Je



Obr. 44. Základní zapojení oscilátoru typu Clapp



Obr. 45. Oscilátor Clappův pro 3 až 20 MHz

nutné volit odpor rezistoru R_4 co největší, popř. použít k oddělení vf tlumivku. Tato úprava se používá při menším napájecím napětí.

Na obr. 45 je praktické zapojení oscilátoru s těmito vlastnostmi:

zatěžovací kapacita: C_L = 30 pF,		
úroveň buzení:	podle KJ 1 až 3 mW,	
napěťová stabilita (pro ±10 % U_B):	$2 \cdot 10^{-6}$	při 3 MHz,
	$1 \cdot 10^{-6}$	5 MHz,
	$4 \cdot 10^{-7}$	10 MHz,
	$6 \cdot 10^{-7}$	20 MHz.

Shrnutí: **Clappův oscilátor musí pracovat s velkým napájecím napětím, aby bylo možno použít napájecí rezistor R_4 s velkým odporem. Stabilita oscilátoru je dobrá, pokud je splněna tato podmínka. Kmitočtové pásmo oscilátoru je 2 až 20 MHz. Z těchto důvodů má oscilátor omezené použití.**

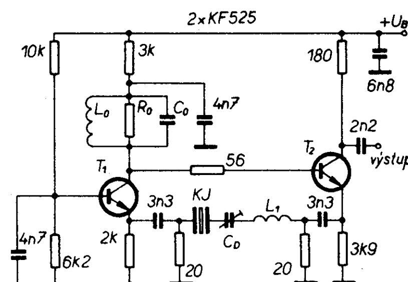
Provoz tříbodových oscilátorů v sériové rezonanci

V tříbodových oscilátorech mohou být provozovány KJ v okolí sériové rezonance. Umožňuje to indukčnost zapojená v sérii s KJ, kterou se odlaďuje provozní kmitočet směrem k nižším hodnotám. Toto uspořádání má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří, že krystal pracuje v okolí sériové rezonance, při které je většinou vyráběn a je na ni ve výrobním podniku nastavován. Také reaktanční prvky X_1 a X_2 oscilátoru mohou být větší, takže zisk tranzistoru může být menší. Nevýhodou je náchylnost k samovolným oscilacím přes sériovou indukčnost a statickou kapacitu KJ a případné skoky na parazitní kmity KJ. Je-li indukčnost poměrně velká, mohou nastat oscilace na vedlejší větvi KJ přes C_0. Náchylnost k samovolným oscilacím lze do jisté míry zmenšit vykompenzováním C_0 paralelní indukčností a zmenšením Q tohoto paralelního obvodu rezistorem.

10.4 Butlerův oscilátor

Butlerův oscilátor patří k nejkvalitnějším oscilátorům s velmi univerzálním použitím. KJ pracuje v sériové rezonanci s minimálním odporem. Existuje několik modifikací oscilátoru, které umožňují funkci oscilátoru v širokém kmitočtovém pásmu (10 kHz až 200 MHz). Obvod KJ pracuje v článku Π, příčné větve jsou tvořeny rezistory s malými odpory, v podélné větvi je KJ. Článek Π je připojen k oscilátoru v místech s malou impedancí. Zapojením obvodu KJ lze vytvořit speciální typy oscilátorů, např. oscilátor pro kmitočtovou modulaci, pro fázový závěs, nebo zapojit obvod KJ s teplotní kompenzací atp.

Na obr. 46 je zapojení oscilátoru pro základní harmonickou v pásmu 6 až 30 MHz. Laděný obvod v kolektoru 1. tranzistoru vyrovnává fázový posuv tranzistorů. Obvodem LC lze teplotně vykompenzovat vlastní obvod oscilátoru. Činitel jakosti se volí malý, obvod je úmyslně zatlumen. Čím větší je poměr $Q_{KJ} : Q_{LC}$ obvodu, tím je oscilátor stabilnější. Zisk ve smyčce se nastavuje tak, aby v oscilátoru kmital krystal s 3× větším ESR, než má ve skutečnosti. Nastavuje se velikostí tlumení (R_{TL}) a pracovními zatěžovacími rezistory článku Π.



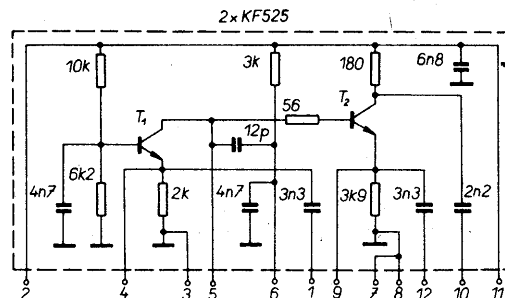
Obr. 46. Butlerův oscilátor pro pásmo 6 až 30 MHz; L_1, C_D i L_0, C_0, R_0 laděny na f_0, R_0 je tlumicí rezistor 1200 až 3000 Ω podle ESR KJ

Parametry uvedeného oscilátoru:

napájecí napětí:	6 až 15 V,
napěťová stabilita pro U_B ±10 %:	$\pm 5 \cdot 10^{-7}$,
výstupní impedance:	200 Ω,
teplotní stabilita:	podle TK KJ,
klidový proud při U_B = 9 V:	3 mA,
výstupní napětí:	200 mV.

Pozn.: Oscilátor se vyrábí jako hybridní integrovaný obvod pod označením WQK030, viz obr. 47, a je ve výrobním programu TESLA Hradec Králové a ELTON Nové Město nad Metují.

Obr. 47. Schéma hybridního integrovaného obvodu WQK030. Představuje aktivní část oscilátoru typu Butler



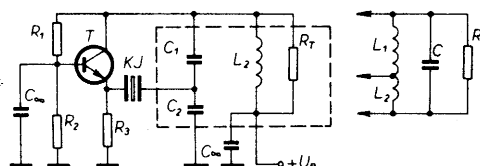
Shrnutí: **Oscilátor Butler je velmi výkonný krystalový oscilátor s velkou stabilitou, vhodný pro široké kmitočtové pásmo. Výhodou je, že KJ pracuje v sériové rezonanci s minimálním ovlivňováním činitele jakosti okolními prvky. Oscilátor má univerzální použitelnost.**
Nevýhodou je větší složitost obvodu, žádný vývod KJ nelze zemnit. Ve spojení s dolaďovacími prvky má pak sklon k samovolným oscilacím.

10.5 Oscilátor s uzemněnou bází (1/2 Butler)

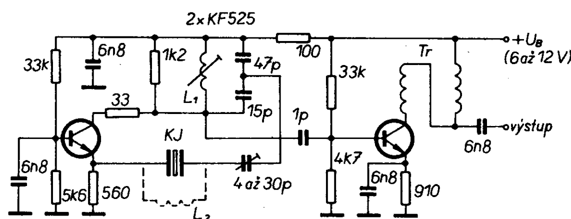
Obvod oscilátoru s uzemněnou bází se používá pro kmitočtové pásmo 20 až 150 MHz, tedy pásmo VHF. Základní schéma je na obr. 48. Je to oscilátor pro sériovou rezonanci KJ. Pracuje tak, že napětí na emitoru tranzistoru je zesilováno a na kolektoru má velikost úměrnou strmosti tranzistoru a dynamickému odporu obvodu LC v kolektoru. Z odbočky kolektorového obvodu je signál veden přes krystal zpět na emitor tranzistoru. Vazba krystalu na výstupní obvod tranzistoru je buď indukční, kapacitní nebo transformátorová. Vazba musí být volná, činitel vazby $n = (C_2 + C_1)/C_1$ je 3 až 5. Vliv výstupního obvodu tranzistoru na krystal je tím potlačen a stabilita zvětšena. Důležité je též tlumení obvodu LC k získání čistých oscilací. Platí zde totéž jako u dvoustupňového oscilátoru: Čím větší poměr $Q_{KJ} : Q_{LC}$, tím větší stabilita oscilátoru. Laděný obvod v kolektoru kompenzuje fázové posuvy tranzistoru a parazitních reaktancí. Vstupní impedance tranzistoru má indukční charakter. Obvod LC musí mít mírně kapacitní charakter pro rezonanční kmitočet KJ. Ladí se mírně pod maximum výstupní amplitudy směrem k nižšímu kmitočtu. Rozdíl rezonance obvodu LC a kmitočtu KJ je asi 1 až 2 MHz. Za předpokladu, že má KJ v sériové rezonanci činný charakter, kompenzuje se fázový posuv vstupního obvodu tranzistoru. Nestačí-li to, pak se připojuje kondenzátor s dostatečně malou kapacitou z emitoru na zem. Součet všech fázových posuvů ve smyčce musí být nulový a smyčkový zisk jednotkový.

Oscilátor nemá nejlepší vlastnosti, z analýzy řešení oscilátoru vyplývají 3 základní podmínky pro optimální činnost:

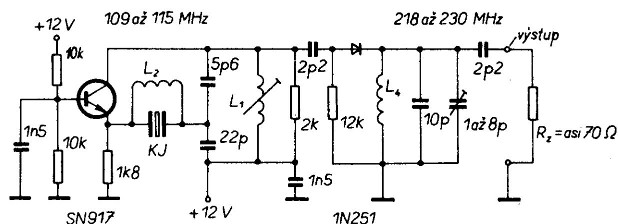
1. Pro optimální ziskové podmínky by měl platit vztah:
$$\left(\frac{C_2}{C_1} + 1\right)^2 = \frac{R_T}{R_{vst} + ESR}$$
2. Kapacity kondenzátorů C_1 a C_2 zvolit tak, aby KJ pracovala na sériové rezonanci při naladění obvodu LC na maximální vf napětí (rezonanci). Fázový posuv tranzistoru posouvá pracovní kmitočet oscilátoru pod sériovou rezonanci KJ. Tento posuv se koriguje zmenšováním C_2 a C_1, přičemž poměr C_2/C_1 zůstává nezměněn. Je však nutné udržovat dostatečný odstup kapacit kon-



Obr. 48. Základní schéma oscilátoru se společnou bází (SB), tzv. „1/2 Butler"



Obr. 49. Oscilátor SB v pásmu 40 až 100 MHz s oddělovacím stupněm



Obr. 50. Oscilátor SB s násobičem kmitočtu na 218 až 230 MHz

denzátorů C_1 a C_2 od parazitních kapacit zapojení a tranzistoru. Na sériovou rezonanci se dostaneme při použití kondenzátoru v sérii s KJ.

3. Podmínka se týká zabránění vzniku parazitních oscilací. Všeobecně se jedná o dva typy nežádoucích oscilací:
   a) oscilace přes kapacitu C_0 KJ. Je-li příliš velká, pak od určitého kmitočtu je nutná její kompenzace paralelní indukčností,
   b) oscilace vlivem vnitřní zpětné vazby tranzistoru, která může být příčinou parazitních oscilací. Tyto oscilace mohou skokem měnit amplitudu výstupního signálu při ladění obvodu *LC*. Tyto oscilace se odstraňují zmenšením odporu tlumicího rezistoru R_T, popřípadě i zmenšením odporu emitorového rezistoru. Též použití vhodného typu tranzistoru může omezit vliv parazitních oscilací.

Oscilátor s uzemněnou bází se používá též s indukční vazbou (odbočka na cívce). Nevýhoda tohoto způsobu spočívá v tom, že laděním cívky se mění činitel vazby laděného obvodu na KJ. V praxi lze využívat indukční vazbu do kmitočtu 40 MHz. Při vyšších kmitočtech se využívá výhradně kapacitní vazby.

Na obr. 49 a 50 jsou praktická zapojení oscilátorů s těmito parametry:

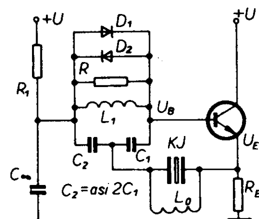
kmitočet:	80 MHz,
napájecí napětí:	9 V/3 mA,
výstupní efektivní napětí:	100 mV/50 Ω,
stabilita napěťová (U_B ±3 %):	< 2.10^{-7},
stabilita zatěžovací R_z ±50:	< 3.10^{-7},

oddělovací stupeň s širokopásmovým výstupním linkovým transformátorem pro zátěž 50 Ω.

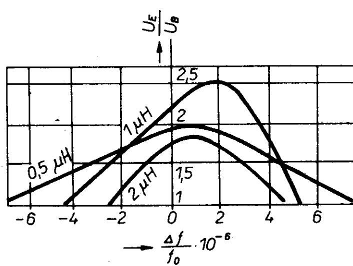
Shrnutí: **Oscilátor „1/2 Butler" je jednoduchý oscilátor pro kmitočtové pásmo 20 až 150 MHz. Je náchylný na parazitní oscilace, zvláště při ladění. Z těchto důvodů vyžaduje velice dobře navržený a optimalizovaný krystal. Vyžaduje dobrou stabilizaci kolektorového proudu. Stabilita oscilátoru je dosti dobrá, má poměrně velký kmitočtový rozsah. Dnes je však považován za nejhorší ze čtyř uvedených typů oscilátorů VHF [11].**

10.6 Oscilátor Butler – emitorový sledovač

Tento oscilátor patří mezi oscilátory VHF [11], u nichž KJ kmitá v okolí sériové rezonance. Na rozdíl od oscilátoru se SB nemá parazitní ani samovolné oscilace. Má dobrou kmitočtovou stabilitu a snadno se ladí. Princípiální schéma je na obr. 51. KJ je zapojena ve větvi záporné zpětné vazby z emitoru tranzistoru do laděného obvodu v bázi. Zisk emitorového sledovače je 1 pro hlavní rezonanci, pro parazitní rezonance je <1, takže se nemohou vybudit. Protože KJ je v záporné zpětné vazbě, zaručuje dobrou stabilitu smyčkového zisku.



Obr. 51. Základní schéma oscilátoru Butler – emitorový sledovač



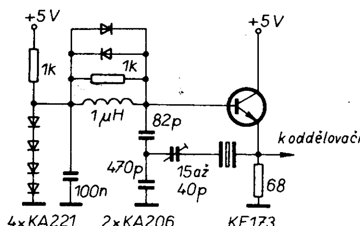
L_1 [μH]	C_1 [pF]
0,5	167 až 260
1,0	60 až 100
2,0	25 až 47

Obr. 52. Závislost smyčkového zisku na kmitočtu při dané kapacitě kondenzátoru C_2. Oscilátor je rozlaďován změnou kapacity kondenzátoru C_1

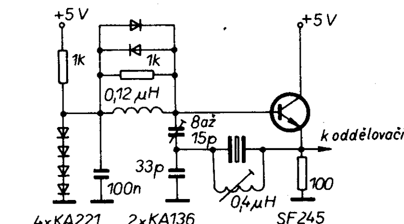
Kapacita kondenzátoru C_2 se volí dvakrát větší než kapacita kondenzátoru C_1. Tvoří kapacitní zátěž pro KJ, takže se nezmenšuje efektivní činitel jakosti KJ.

Kapacita C_2 má být taková, aby reaktance C_2 byla rovna nebo menší, než je ESR KJ.

Cívka L_1 (spolu s kondenzátorem C_1) je laděna na kmitočet sériové rezonance KJ. Tento laděný obvod kompenzuje fázový posuv KJ s kapacitní zátěží C_2 a zároveň zajišťuje, že je smyčkový zisk asi 2. Diody D_1 a D_2 omezují oscilační amplitudu, udržují konstantní úroveň buzení, zamezují úplnému zavírání a saturaci tranzistoru a zajišťují sinusový signál na KJ bez jakýchkoli špiček.



Obr. 53. Oscilátor Butler-emitorový sledovač 20 MHz



Obr. 54. Oscilátor Butler-emitorový sledovač 100 MHz

Závislost zisku U_B/U_E jako funkce rozladění obvodu kondenzátoru C_1 závisí na poměru L_1/C_1 pro maximální zisk (obr. 52).

Zapojení oscilátoru pracujícího na kmitočtu 20 MHz a 100 MHz je na obr. 53 a 54. Pro jednotlivá kmitočtová pásma je nutné vybrat vhodný tranzistor.

Shrnutí: **Oscilátor Butler – emitorový sledovač má dobrou kmitočtovou stabilitu a pracuje velmi dobře bez parazitních oscilací. Má malou výstupní impedanci. Je vhodný pro vysoké kmitočty více než ostatní oscilátorové obvody, protože jeho zesilovač pracuje pouze se ziskem jedna.**

11. Způsoby zlepšování teplotní stability kmitočtu oscilátorů

Dosud uvedené typy oscilátorů poskytují kmitočtovou stabilitu danou možnostmi vlastního krystalu. Oscilátorový obvod stabilitu krystalu nesmí zhoršovat, ale zároveň sám o sobě ji nemůže zlepšovat. Největší vliv na stabilitu oscilátoru má teplota okolí, která ve výše zmíněných obvodech působí přímo na KJ. Je několik způsobů, kterými se zlepšuje teplotní stabilita oscilátorů:

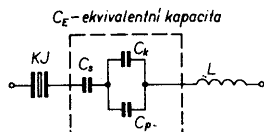
1) teplotní optimalizace, 2) teplotní kompenzace, 3) teplotní stabilizace.

11.1 Optimalizace teplotního průběhu kmitočtu KJ

Teplotní optimalizace se používá pro zlepšování kmitočtové stability v určitém rozmezí teplot u miniaturních oscilátorů. Existuje jistá teoretická hodnota dosažitelné stability KJ řezu AT (viz tab. 6). Vlivem výrobních tolerancí je praktická stabilita horší.

Tab. 6.

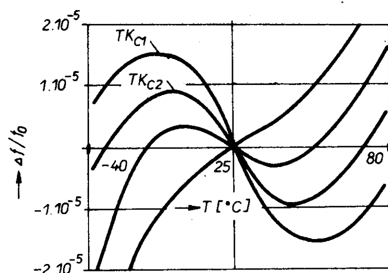
T [°C]	0 až 50	−10 až 70	−25 až 70	−40 až 70	−60 až 80
$\frac{\pm\Delta f}{f_0}$ 10^{-6}	1,0	2,5	4,2	7,6	18



Obr. 55. Zapojení obvodu pro teplotní optimalizaci KJ

Teplotní optimalizace spočívá v rektifikaci kmitočtové teplotní charakteristiky KJ [4]. Zapojí-li se kondenzátor s lineárním teplotním průběhem kapacity (teplotním koeficientem) v sérii s KJ, „natáčí se" kmitočtová charakteristika v závislosti na teplotě tak, jako by se měnila orientace řezu křemenného výbrusu. Při zápornějším teplotním koeficientu kapacity se natáčí charakteristika KJ tak, jako by se zmenšoval úhel řezu KJ. Obvodové zapojení je na obr. 55. Sériovým kondenzátorem o vhodném TK_C lze tedy dosáhnout teoretické stability podle tab. 6.

Vzhledem k tomu, že neexistuje kondenzátor s plynule proměnným TK_C, používá se řešení podle obr. 56. Požadovaná



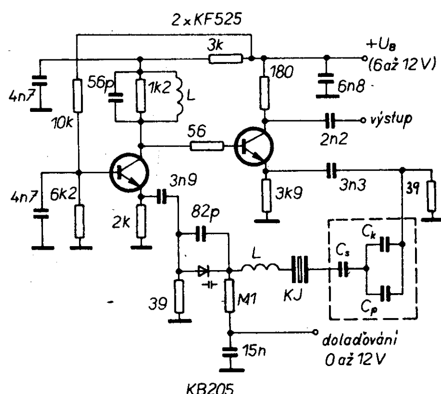
Obr. 56. Znázornění relativního natáčení teplotní charakteristiky KJ v závislosti na teplotním koeficientu kapacity C_k

velikost TK_C sériového kondenzátoru se získá složením tří kondenzátorů s různými teplotními koeficienty a určitými kapacitami. Vychází se z dané kapacity zatěžovacího kondenzátoru, která je pro konfiguraci tří kondenzátorů vždy stejná.

Čím je kapacita menší, tím je regulace kmitočtu strmější. V tab. 7 jsou uvedeny praktické kapacity C_k, C_s a C_p a výsledný teplotní koeficient kombinace.

Tab. 7.

	C_k[pF]	27 pF Negatit (-1500.10^{-6}/°C)								27 pF Stabilit
Stabilit	C_p[pF]	0	3,9	3,9	5,6	10	15	27	47	0
Stabilit	C_s[pF]	0	0	150	150	100	68	56	39	0
$TK_m.10^{-4}$		−15	−13	−11	−10	−8	−6	−4	−2	0

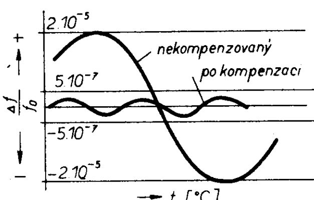


Obr. 57. Zapojení teplotně optimalizovaného oscilátoru

Jak je vidět, tímto způsobem se získá kondenzátor o dané kapacitě asi 27 pF s teplotním koeficientem v jemných skocích. Přidáním sériové indukčnosti do obvodu KJ se zajistí provoz oscilátoru v sériové rezonanci KJ. Tím odpadají starosti s kalibrací krystalu při nastavování kmitočtu oscilátoru (obr. 57).

11.2 Teplotní kompenzace. Oscilátory TCXO

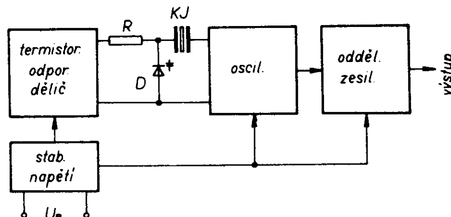
Teplotní kompenzace je metoda, kterou se zlepšuje kmitočtová stabilita v určitém rozmezí teplot tam, kde je žádoucí malá spotřeba oscilátoru. Lze dosáhnout zlepšení oproti samotnému krystalu až o dva řády, tedy na $\pm 5.10^{-7}$ v intervalu teplot −40 až 80 °C. Průběh kompenzace je na obr. 58. Oscilátory se nazývají TCXO



Obr. 58. Kmitočtová charakteristika KO před a po teplotní kompenzaci

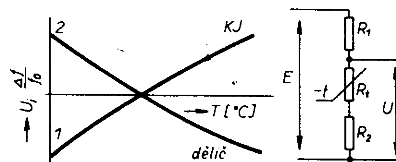
(teplotně kompenzovaný krystalový oscilátor) a kompenzace je u nich provedena varikapem a teplotně závislým odporovým děličem. Teplotní charakteristika kmitočtu oscilátoru s KJ je kompenzována takovým napětím přiváděným na varikap, který vyvolává kmitočtově opačné změny, než jaké má KJ.

Blokové schéma oscilátoru TCXO je na obr. 59. Odporový dělič je složen z rezistorů a termistorů, jejichž odpory se určují

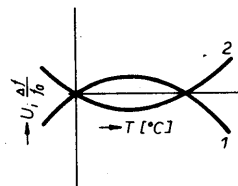


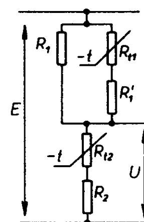
Obr. 59. Blokové schéma teplotně kompenzovaného krystalového oscilátoru

individuálně optimalizačním výpočtem z naměřených kmitočtových charakteristik KJ. Jako oscilátor se obvykle používá zapojení podle Colpittse, u něhož se vloží varikap D mezi KJ a zem. Podle tvaru kmitočtové charakteristiky KJ se stanoví zapojení odporového děliče. Obecně platí, že počet termistorů je vždy o jeden větší, než je počet vrcholů na charakteristice KJ. Na obr. 60 až 62 jsou tři tvary kmitočtové závislosti KJ na teplotě, jim odpovídající a požadovaný průběh napětí na varikapu a zapojení teplotně závislého děliče.

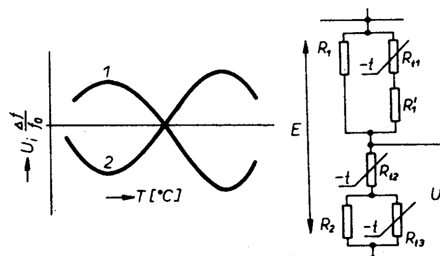


Obr. 60. Monotonní charakteristika KJ (1). Odpovídající kompenzační dělič napětí a jeho průběh napětí (2)





Obr. 61. Parabolická charakteristika KJ (1). Odpovídající kompenzační dělič a jeho průběh napětí (2)



Obr. 62. Teplotní charakteristika KJ se dvěma vrcholy (1). Odpovídající kompenzační dělič napětí a jeho průběh napětí (2)

Teplotně závislý dělič lze navrhovat dvěma metodami. Především se vychází z daných termistorů, z nichž každý kompenzuje určitý úsek teplotního oboru. Odpor termistorů se od sebe liší zhruba o řád. Požaduje se od nich dostatečná strmost a co největší dlouhodobá stabilita.

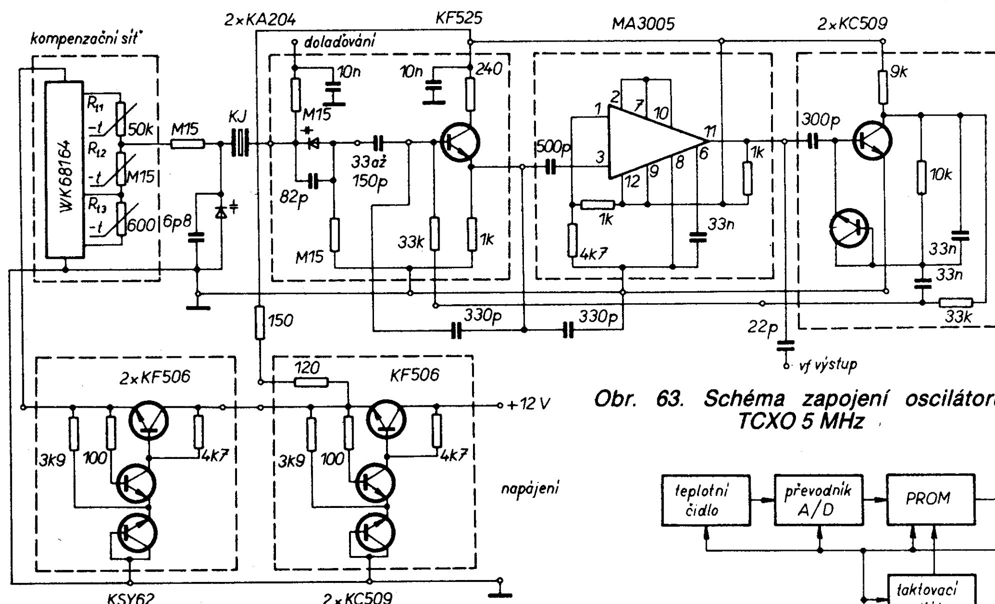
První metoda stanovení odporu rezistorů spočívá v optimalizačním výpočtu na základě měření v teplotní komoře. Měří se tyto veličiny v závislosti na teplotě

a) odpor všech termistorů,
b) napětí zdroje pro napájení děliče,
c) kompenzační napětí řídicího varikapu.

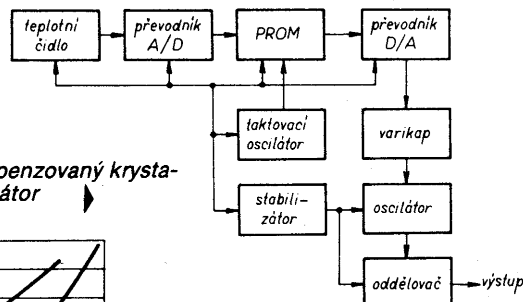
Hodnoty těchto veličin v závislosti na teplotě dávají vstupní data pro výpočet. Výpočet je složitý a bez použití počítače prakticky nemožný. Tímto způsobem lze získat oscilátory se stabilitou 5.10^{-7}.

Druhá metoda spočívá v modelování odporového děliče v průběhu teplotního měření oscilátoru. Jednotlivé „odporové" kombinace pracují v určitém úseku teplot, proto lze k určení odporů rezistorů použít substituci. K daným termistorům se v určitých teplotních úsecích připojuje odporová dekáda, kterou se nastavuje kmitočet oscilátoru na požadovanou velikost. Opakovaným měřením a korekcemi stanovených odporů lze sestavit definitivní dělič. Oscilátory zhotovené tímto způsobem mohou mít stabilitu až 1.10^{-6}. Tato druhá metoda vyžaduje, aby všechny ostatní prvky oscilátoru (KJ, varikap, napájecí zdroj, děliče) měly co nejužší tolerance vzhledem k požadovaným jmenovitým hodnotám.

Praktická ukázka zapojení oscilátoru TCXO je na obr. 63. Zapojení je typu



Obr. 63. Schéma zapojení oscilátoru TCXO 5 MHz



Obr. 64. Digitálně kompenzovaný krystalový oscilátor

Colpitts, KJ pracuje na základní harmonické. Oscilátor má oddělovací stupeň, vlastní zdroj pro napájení odporového děliče, obvod pro doladění kmitočtu a obvod automatické regulace úrovně buzení KJ. Oscilátory TCXO se obvykle zhotovují v kmitočtovém pásmu do 30 MHz, protože KJ musí pracovat na základní harmonické vzhledem k potřebnému značně velkému rozlaďování.

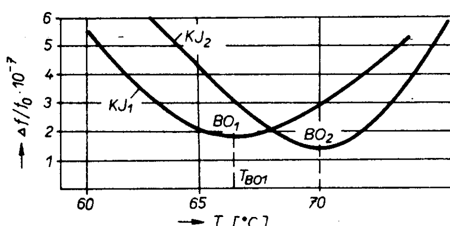
Dosud popisovaná kompenzace byla analogová. V poslední době zasahuje digitalizace i do oboru krystalových oscilátorů a zlepšuje teplotní stabilitu až na $\pm 5.10^{-8}$.

Principů digitální kompenzace je několik včetně použití mikroprocesoru. Přestože lze tímto způsobem zlepšit stabilitu zhruba o řád, jejímu rozšíření zatím zabraňují výhody běžné analogové kompenzace. Jsou to především malá spotřeba a malé rozměry oscilátoru TCXO. Obvody digitální kompenzace mají v provedení TTL velkou spotřebu, v provedení CMOS jsou příliš složité. Na obr. 64 je blokově znázorněn oscilátor s digitální kompenzací KJ.

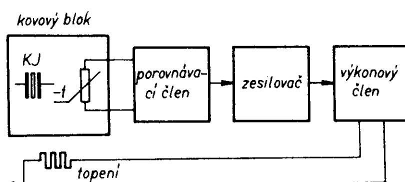
11.3 Teplotní stabilizace kmitočtu oscilátorů

Teplotní stabilizace kmitočtu se používá v oscilátorech pro nejvyšší nároky na kmitočtovou stabilitu. Označují se OCXO. Princip spočívá v tom, že KJ nebo obvod celého oscilátoru se umístí do termostatovaného prostoru. Teplota termostatu se nastaví na tzv. bod obratu teplotní charakteristiky KJ (obr. 65). Termostat zmenšuje vliv změn okolní teploty a tím redukuje kmitočtové změny KJ. Podle jakosti termostatu lze získat stability kmitočtu oscilátoru řádu od 10^{-7} až 10^{-10} v rozmezi teplot 0 až 60 °C. U normálových oscilátorů (sekundárních normálů) se termostatuje celý obvod vlastního oscilátoru, aby se vyloučil teplotní drift všech součástek. Zároveň se tak stabilizují jejich hodnoty i dlouhodobě.

Energetická spotřeba celého oscilátoru je řádu jednotek W. V době náběhu teploty po zapnutí je 3 až 5× větší. Oscilátory jsou dimenzovány na trvalý provoz. Ustálení kmitočtu oscilátoru v řádu $< 1.10^{-8}$ trvá několik hodin až dní.



Obr. 65. Znázornění bodu obratu na teplotní charakteristice krystalu (BO_1, BO_2 – body obratu KJ_1 a KJ_2, T_{BO1} – teplota bodu obratu KJ_1)



Obr. 66. Blokové schéma termostatu

K udržení konstantní teploty termostatu pro velmi stabilní oscilátory se používá výhradně proporcionální regulace. Je stejnosměrná nebo střídavá. Platilo tvrzení, že střídavá regulace je přesnější, neboť chyby způsobené teplotním driftem střídavého zesilovače jsou zanedbatelné proti ss zesilovači. Dnes se však používá výhradně ss regulace s využitím monolitických operačních zesilovačů, jimiž se obvody regulace velmi zjednodušují.

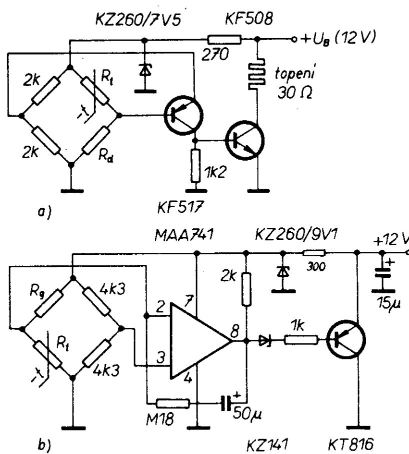
Blokové schéma termostatu je na obr. 66. Kovový blok, v němž je umístěn krystal nebo celý obvod oscilátoru, by měl být konstruován tak, aby jeho teplota byla stejná, tzn. s nulovým gradientem, ve směru axiálním. Tepelná kapacita je dána určitým objemem bloku a druhem materiálu. Pro tyto účely se používá měď nebo hliník. Rozhodující veličinou pro návrh termostatu je rychlost tepelné odezvy, tj. za jakou dobu po přiložení určitého výkonu dosáhne teplota kovového bloku 2/3 teploty konečné. Kromě zpoždění způsobeného časovou konstantou tepelné kapacity a tepelného odporu (závisí na materiálu, objemu a povrchu) se připojuje ještě zpoždění vlivem

a) izolace vodičů,
b) přechodu tepelné energie na čidlo,
c) času potřebného na ohřátí samotných vodičů topení.

Rozhodující je zpoždění b), které závisí na typu čidla, na jeho umístění v kovovém bloku, na izolaci mezi vinutím a kovovým blokem a na průběhu vodičů. Experimentálně se zjistilo, že nejmenšího zpoždění se dosahuje perličkovými termistory zapuštěnými do drážky těsně pod zdroj tepla (0,25 s). Vzhledem ke značnému teplotnímu gradientu mezi vinutím a blokem je tento systém však neuspokojivý. Maximální „servozisk" s měděným blokem bývá až asi 100. Aby se dosáhlo lepšího zisku, musí se experimentovat jednak s topením, jednak s umístěním čidel, tvarem kovového bloku a s tepelnou izolací. V poslední době se používá kombinace vinutí a přímého ohřevu výkonových tranzistorů umístěných na povrchu termostatu nebo se používá dvojitý ohřev. Lze získat činitel jakosti termostatu 500 až 1000 (tzn., že změna okolní teploty o 1 °C způsobuje změnu teploty v termostatu o 0,001 °C). Tyto údaje jsou charakteristické pro špičkové normálové oscilátory.

Termistor jako snímač teploty v porovnávacím členu se zapojuje do obvodu můstku diferenčního zesilovače nebo odporového děliče. Od porovnávacího členu se vyžaduje určitá citlivost. S největší citlivostí pracuje snímač zapojený v diferenčním zesilovači, dále pak v můstkovém zapojení. Snímač, zapojený v odporovém děliči, se používá při střídavé regulaci. Na obr. 67 a 68 jsou ukázky ss a střídavých regulátorů termostatu vhodné pro oscilátory OCXO. Činitel jakosti termostatu podle obr. 67a o objemu asi 2 cm² je asi 50. Na vytápění se podílí kromě vinutí i koncový tranzistor, který je spolu se zesilovačem zapuštěn v kovovém bloku, tím je tepelně stabilizován.

Na obr. 67b je regulátor teploty s operačním zesilovačem. Jako topného článku se využívá ztrátového výkonu koncového tranzistoru, který je připojen na kovový blok malého termostatu. Perličkový termistor se umísťuje do malé dírky těsně pod topným tranzistorem. Prostor pro



Obr. 67. Obvody stejnosměrné regulace termostatu; a) tranzistorový regulátor termostatu, R_d k nastavení teploty, b) regulátor termostatu s operačním zesilovačem, R_g k nastavení smyčkového zisku regulátoru

termistor se vyplňuje teplotně vodivým tmelem. Tímto uspořádáním lze dosáhnout činitele jakosti termostatu až 300. Obvod lze ještě zjednodušit použitím obvodu MAA723, který obsahuje i referenční zdroj pro napájení porovnávacího členu. Velikost zisku se nastavuje zpětnou vazbou odporem R_g tak, aby se po zapnutí topný proud po třech kyvech ustálil na konstantní velikosti. Teplota termostatu se nastavuje odporem rezistoru R_d. Menšímu odporu odpovídá vyšší teplota termostatu. Postup při nastavování bodu obratu KJ spočívá ve změření teplotní závislosti kmitočtu oscilátoru. Časové intervaly teplotní změny musí být konstantní. Místo rezistoru R_d se připojí odporová dekáda. Postupným zmenšováním odporu dekády se zvyšuje teplota termostatu. V ustáleném stavu se změří kmitočet oscilátoru. Po zjištění křivky v okolí extrému (minimum kmitočtu u řezu AT) se extrapolací vybere rezistor R_d takového odporu, který je shodný s odporem dekády v termostatu. Pokud se termostatuje pouze KJ, je nutno i v obvodu oscilátoru teplotně vykompenzovat prvky, které souvisí s bezprostředním řízením KJ. Využívá se k tomu recipročních charakteristik reaktančních prvků.

Normálový oscilátor podle obr. 69 obsahuje několik samostatných obvodů, které zabezpečují splnění požadavků na maximální kmitočtovou stabilitu.

Dále následuje stručný přehled základních principů pro normálové oscilátory:

1. Fázový šum se zmenšuje s rostoucí úrovní buzení rezonátoru, avšak zhoršuje se dlouhodobá stabilita.
2. S rostoucí úrovní buzení se zvyšují nároky na stabilizaci amplitudy oscilací.
3. Aktivní prvky oscilátoru musí mít v ustálených pracovních podmínkách malý šum. Tranzistor musí pracovat ve třídě A, aby se nezmenšovala jakost Q KJ.
4. Činitel jakosti Q KJ musí být co největší. Volbou zapojení oscilátoru je nutné zajistit co nejmenší zmenšení Q KJ v obvodu.
5. Stabilizace amplitudy buzení obvodem ARZ je zdrojem zhoršování krátkodobé stability. Je nutné účinně zmenšit tento vliv na krátkodobou stabilitu pomocnými obvody s malým šumem, zejména použitím Schottkyho diod, zdrojem referenčního napětí s malým šumem a stabilizátorem pro napájení celého oscilátoru s malým šumem.
6. Je třeba zabezpečit, aby se nedegradoval signál oscilátoru s dobrými spektrálními šumovými vlastnostmi v dalších stupních.
7. Konstrukční návrh se musí zaměřit též na zmenšení parazitních přenosů, sklonu k nakmitávání, musí se zabezpečit dokonalé uzemnění, filtrace napájení a stíněním zmenšit účinně vliv pronikání vf polí.

Oscilátor podle blokového schématu obsahuje dva termostaty, vnitřní a vnější, se samostatnými teplotními regulátory TR_1 a TR_2. Obvody termostatů jsou napájeny ze samostatného zdroje napětí. Oscilátorová část je napájena z vlastního stabilizátoru. KJ je umístěna ve vnitřním termostatu, obvody oscilátoru a oddělovacího stupně jsou vestavěny v prostoru vnějšího termostatu. Stabilizace amplitudy a úroveň buzení KJ je zajišťována obvodem ARZ. Pracovní bod oscilačního tranzistoru se řídí regulačním napětím smyčky ARZ podle amplitudy oscilací. Tato smyčka usnadňuje nasazování oscilací.

Výhodnější způsob regulace buzení, který nezanáší do oscilátoru šum, je použití omezovacích diod připojených paralelně k výstupnímu laděnému obvodu oscilátoru. Zisk stupně se tak mění podle velikosti amplitudy a není šumově ovlivňován obvod KJ. Obvod oscilátoru je typu Pierce s KJ pracující na 5. harmonické. Kmitočet se nastavuje hrubě změnou indukčností v rozsahu 1.10^{-6}, jemně pak varikapem v rozsahu 1.10^{-7}. Signál z oscilátoru do oddělovače se odebírá z obvodu KJ, kde je naprosto čistý. Na výstupu oddělovače se upravuje na výkonovou úroveň podle potřeby.

Nastavování normálového oscilátoru je velmi pracné a vyžaduje jistý technologický čas k zachycení počátečního náběhu kmitočtu a teprve pak je možné nastavovat KJ do bodu obratu a měřit potřebné parametry.

12. Speciální typy krystalových oscilátorů

Do této skupiny oscilátorů patří obvody, které využívají vlastnosti KJ, nazývané rozladitelnost. Podle typu KJ lze oscilátory rozlaďovat v rozsahu 100 až 1000 ppm. Rozladitelnost a stabilita jsou však protichůdné požadavky. Rozladitelnost je primárně určena dvěma vlastnostmi:

1. Reaktanční charakteristikou KJ v závislosti na kmitočtu.
2. Reaktanční charakteristikou rozlaďující součástky v závislosti na napětí.

Oscilátor lze rozlaďovat v zásadě v okolí sériové rezonance směrem k paralelní rezonanci při použití kondenzátoru v sérii s KJ jakožto rozlaďovacího prvku. Této metody se využívá prakticky ve všech oscilátorech k přesnému nastavení na požadovaný kmitočet, k vymezování stárnutí KJ, popř. k fázovému závěsu oscilátoru. Stabilita oscilátoru při dostatečně stabilní rozlaďovací kapacitě nebo vf varikapu se podstatně nezmenšuje.

Chceme-li rozlaďovat oscilátor směrem pod sériovou rezonanci KJ, použije se sériová indukčnost v obvodu KJ. V tomto případě se zmenšuje stabilita oscilátoru, neboť toto uspořádání zmenšuje efektivní jakost Q KJ.

Spojením obou metod (cívka a kondenzátor v sérii s KJ) lze rozlaďovat oscilátor symetricky do sériové rezonance. Tato metoda se používá u oscilátorů pro přímou kmitočtovou modulaci, VCXO [5]. Velikost rozladění je nepřímo úměrná poměru C_0/C_1 u KJ (podle náhradního schématu). Ze vztahu pro paralelní rezonanci

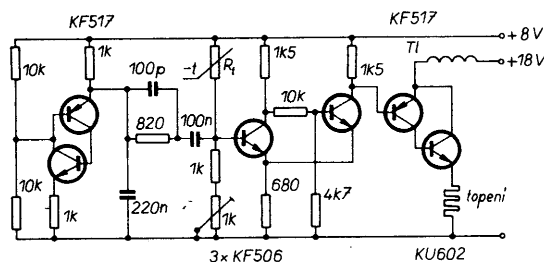
$$f_a = f_s\left(1 + \frac{C_1}{2C_0}\right)$$

je vidět, že čím bude poměr C_0/C_1 menší, tím větší bude rozladění. Poměr C_0/C_1 závisí na kmitočtu a na harmonickém módu KJ.

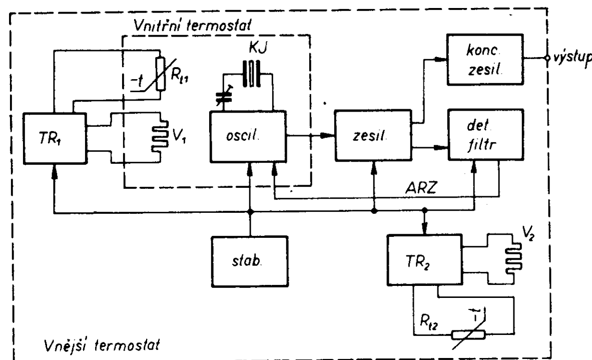
V tab. 8 je ukázán poměr C_0/C_1 pro základní a harmonické KJ. Z této tabulky

Tab. 8.

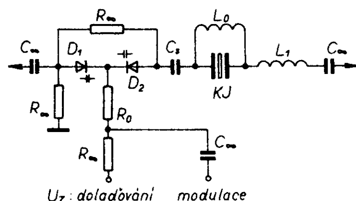
Kmitočet [MHz]	Harmonický mód	C_0/C_1
0,2	1.	400
2,0	1.	270
7	1.	230
10	1.	220
12,5	1.	200
20	1.	200
25	1.	180
31	3.	2500
50	3.	3000
60	3.	3500
50	5.	6200
60	5.	6500



Obr. 68. Obvod regulátoru termostatu se střídavou regulací



Obr. 69. Blokové schéma normálového oscilátoru s dvojitým termostatem; TR – teplotní regulátor, V_1, V_2 – topná vinutí



Obr. 70. Zapojení obvodu KJ pro přímou kmitočtovou modulaci

je vidět, že KJ na základním módu mají největší použití pro VCXO. Praktické omezení je do 25 MHz.

Základní zapojení obvodu KJ pro oscilátory VCXO pro kmitočtovou modulaci je na obr. 70. Jako proměnné kapacity jsou použity dva varikapy v sérii s cívkou. Paralelní cívka ke KJ linearizuje statickou kapacitu C_0 KJ. Dva varikapy se používají ke zlepšení strmosti, zmenšení vlivu parazitních kapacit mezi KJ a varikapem. Sériová indukčnost bývá někdy též složena ze dvou cívek.

Tento obvod KJ lze připojit do oscilátoru pro provoz v sériové rezonanci nejlépe do článku Π na malou vstupní a výstupní impedanci.

Zapojení celého oscilátoru VCXO je na obr. 71. Obvod KJ je vložen do oscilátoru Butler, který má fázový posuv 180°. Nerovnoměrný fázový posuv tranzistoru je dokompenzován laděným obvodem v kolektoru T_1. Výstup oscilátoru je z kolektorového obvodu emitorového sledovače. Obvod KJ pracuje v sériové rezonanci se zatěžovacími odpory s malou impedancí. Obvod lze teplotně vykompenzovat teplotně závislými prvky v obvodu KJ (C_s a L_1). Kmitočtový rozsah obvodu je 5 až 25 MHz, výstupní napětí ≧150 mV, kmitočtový zdvih ≧ ±5 kHz při modulačním efektivním napětí 2 V.

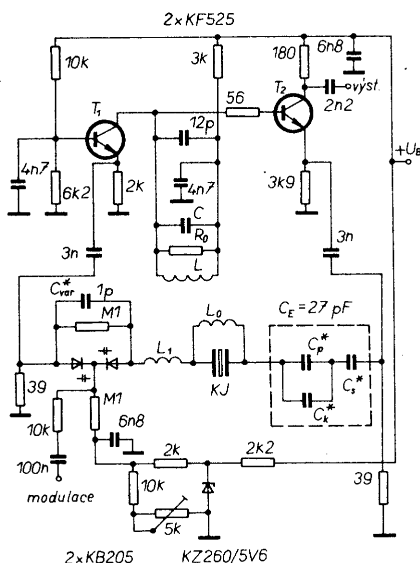
12. 1 Několikakanálové oscilátory

Někdy je žádoucí použít v jednom oscilačním obvodu větší počet krystalů k získání různých kmitočtů. Problém lze řešit buď výměnami KJ (krystalové objímky) nebo použít oscilátor s přepínacím mechanismem. První způsob je z hlediska elektrického bezproblémový, druhý způsob přináší potíže s rostoucím kmitočtem a počtem přepínaných kanálů vzhledem k parazitním kapacitám a indukčnostem vlastního přepínače.

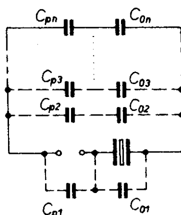
Z těchto důvodů je nutno zvažovat vhodnost použití určitého typu oscilátoru a za druhé minimalizovat zmíněné parazitní reaktance.

V každém případě každý přepínač má mezielektrodové parazitní kapacity (způsobující přeslechy), které se v oscilátoru přičítají ke statické kapacitě právě pracujícího krystalu. To má za následek větší zatěžování KJ, zmenšování aktivity a zvětšený sklon k parazitním oscilacím přes kapacitu C_0 (projevuje se hlavně v zapojení oscilátoru se SB), obr. 72. Ke zmírnění těchto negativních vlivů se používají speciální přepínače s malými kapacitami s teflonovým dielektrikem, s co nejkratšími přívody konstruovanými pro montáž do desek s plošnými spoji.

Lze též použít spínací diody, popřípadě diodové dvojice a kanály přepínat ss napětím dálkově. Je nutné (obr. 73) vybrat vhodný typ s minimálním spínacím odporem a kapacitou. Všeobecně lze konstatovat, že přepínat KJ nad 100 MHz v praxi nelze, způsobuje to vzájemná závislost jednotlivých kanálů, jednotlivé kanály se při připojování dalších rozlaďují. Rostou požadavky na individuální kalibraci KJ, popř. je nutné použít v každém kanálu sériový rezonanční obvod, který zajišťuje ladění KJ oběma směry. V poslední době se potřeba několikakanálových oscilátorů „obchází" použitím kmitočtové syntézy. Tam, kde se vyžaduje větší spektrální čistota, se používá několik jednokanálových miniaturních oscilátorů.



Obř. 71. Zapojení oscilátoru VCXO v pásmu 6 až 25 MHz



Obr. 72. Náhradní schéma přepínače kanálů několikakanálového oscilátoru; C_0 – statická kapacita KJ, C_{p1} až C_{pn} – parazitní kapacity kontaktů

13. Sortiment KJ a KO

V následujících tabulkách (tab. 9 a 10) jsou uvedeny informativní údaje o současném perspektivním výrobním sortimentu KJ a KO, vyráběném v k. p. TESLA Hradec Králové. Uváděny jsou i zaokrouhlené cenové relace, které byly převzaty z [9]. Podrobnější technickou specifikaci jednotlivých parametrů KJ a KO, včetně úplného výrobního sortimentu, najde zájemce v katalozích [12], [13], nebo pro jednotlivé KO v podnikových Q-normách, které si lze vyžádat v odbytovém oddělení TESLA Hradec Králové.

Závěr

V článku jsme se snažili přiblížit širší veřejnosti „tajemnou" problematiku krystalových jednotek a jejich aplikací. Jsme si vědomi toho, že nelze uspokojit všechny zájmy, zároveň však víme, že české literatury o krystalech není mnoho a o krystalových oscilátorech ještě méně. Náročnějším zájemcům o tuto problematiku nezbývá než obtížně shánět zahraniční literaturu.

Literatura

[1] *Petržílka, V. a kol.:* Piezoelektřina a její použití. Nakladatelství ČSAV: Praha 1960.

[2] *Zelenka, K.:* Piezoelektrické rezonátory. Academia: Praha 1983.

[3] *Šojdr, L.:* Měření fázového šumu v blízkosti nosného kmitočtu. Slab. obzor **43** (1982), č. 9, s. 424.

[4] *Pavlovec, J.:* Rektifikace teplotní závislosti kmitočtu oscilátorů s PKJ. Slab. obzor **40** (1979), č. 10, s. 463,

[5] *Pavlovec, J.:* Frekvenční rozlaďování krystalových oscilátorů. Slab. obzor **42** (1981), č. 8, s. 378.

[6] IEC Publ. 444: Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a PI network.

[7] IEEE Standard on Piezoelectricity. Sonics and Ultrasonics, březen 1984, Vol. SU-31, č. 2.

[8] *Altšuller, G. B.:* Kvarcevaja stabilizacija častoty. Svjaz: Moskva 1974.

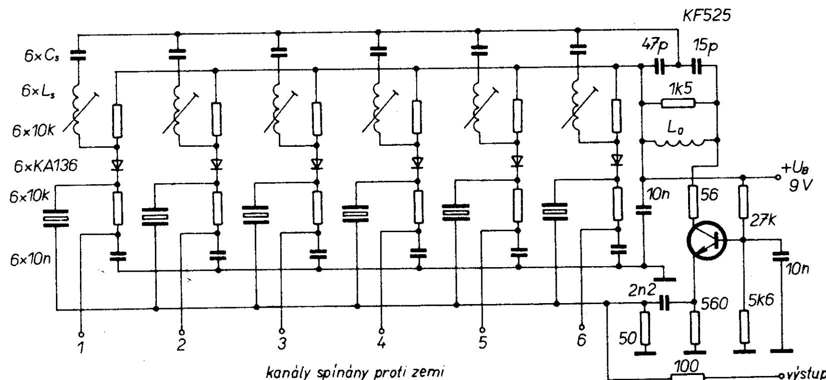
[9] Ceník velkoobchodních cen, obor 371 – součásti pro elektroniku. VC-7/ 41, II. díl, FMEP, 1985.

[10] *Frerking, M. E.:* Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation. VNR 1978, USA.

[11] *Matthys, R. J.:* Crystal Oscillator Circuits for UHF. R. F. Design **6** (1983), č. 3, s. 62, USA.

[12] Piezoelektrické krystalové jednotky. Katalog TESLA Hradec Králové 1984.

[13] Krystalové oscilátory. Katalog TESLA Hradec Králové 1983.



Obr. 73. Šestikanálový harmonický oscilátor v pásmu 40 až 100 MHz s šířkou pásma 0,5 MHz

Tab. 9.

Č.	Řez	Kmitočet [kHz]	Harm.	Držák 1)	Číslo výrobku	Cena [Kčs]	Poznámka
1	X-5°	4,5 až 12	1	4	31810–31823	200–250	ohybový kmit ve směru tloušťky
2	NT	12 až 40	1	4	31840–31852	165–230	ohybový kmit
3	X-5°	50 až 160	1	4	31880–31907	150–250	podélný kmit
4	GT	100	1	spec.	10020	900	plošně střižný; výroba ukončena v roce 1982
5	GT	300 až 600	1	1	51110–51111	90–140	plošně střižný
6	AT	1000	1	1	21710	186	bikonvexní výbrus
7		2000 až 20 000	1	1	51130–51172	70–130	
8		20 000 až 75 000	3	1	51190–51213	110	
9		75 000 až 120 000	5	1	51230–51251	110	
10	AT	3579, 545 4000; 4194, 304 4433, 619 6000; 8867, 238	1 1 1 1	2 2 2 2	21500 21600; 21627 21581 21191; 21591	89 70; 50 59 60; 56	prozatím pouze diskrétní kmitočty; jiné kmitočty nutno zadat přes TR TESLA Hradec Králové
11	AT	8000 až 120 000	1, 3, 5	2	51510–51582	70–90	držák HC-49/U
12		8000 až 160 000	1, 3, 5, 7	2	41310–41480	50–100	držák SD 2/13
13	AT	5000 až 26 000	1	6			prozatím pouze pro KO vyráběné v TESLA Hradec Králové
14	AT	5000 10 000	5 5	5 5	20440 20860	571 298	držák „Noval"; určeno pro kmitočtové normály
15	SC	5000 10 000	3 3	5 5	21890 21800		držák „Noval"; výroba od r. 1988

1) údaj se vztahuje k číslu držáku v tab. 3

Tab. 10.

Č.	Typ	Kmitočet [MHz]	Rozměry [mm]	Cena [Kčs]	Č. výrobku	Podniková norma	Poznámka
1	OCXO	5,0	170×123×87	18 000	90800	Q-913	termostatovaný normál standardního provedení; výroba od r. 1974
2		10,0	72×72×97	14 200	90461		term. normál standardního provedení, se zaručovanou krátkodobou stabilitou; výroba od r. 1984
3		5,0	87×88×73		90801		term. normál s KJ řezu SC, se zaručovanou velkou krátkodobou stabilitou;
4		10,0			90900	Q-929	výroba od r. 1988
5	OCQO	5,0	69 × 52 × 40	983	90780		term. oscilátor; výroba od r. 1976
6	DTXO	20 až 30 38, 38,9	91×58×58	3900	90540 90541	Q-914	oscilátor s dvojitým termostatem; výroba od r. 1975
7	TCCXO	5; 6,4	36×22×13	1160 1140 750	90840 90841 90842	Q-916	teplotně optimalizovaný oscilátor; výroba od r. 1983
8	TCXO 2	5,0	45×45×19	4240	90850	Q-922	teplotně kompenz. oscilátor s termistorovým děličem pro teploty −55 až 85 °C; výroba od r. 1985
9	TCXO 3	6,4; 8,867238 9,0	35×28×11	3000	90890 90920 90880	Q-923 Q-925 Q-921	teplotně kompenz. oscilátor s termistorovým děličem pro teploty −25 až 70 °C; výroba od r. 1986
10	VCXO 1	6,2 až 25,9	36×22×13	1200 až 1600	90480 až 90487	Q-915	řada diskrétních kmitočtů; napěťově řízený oscilátor, zdvih ±5 kHz; výroba od r. 1984
11		12,66			90450		zdvih ±10 kHz ss napětím; výroba od r. 1986
12	MXO 1	47 až 101	25×12×11	634	90820	Q-917	miniaturní osc. typu SPXO, vhodný pro klíč. provoz; pouzdro DIL; 1986
13	MXO	6,4	∅ 15, výška 7	467	90870		miniat. osc. typu SPXO v pouzdře TO-8; vhodný pro klíč. provoz; 1986
14	MIXO	10,7; 21,4; ±0,1; ±0,45	∅ 15, výška 7	487	90860		miniat. osc. se směšovačem; 1986
15	SPXO 1	100	25×12×11	630	90827		miniat. osc. v pouzdře DIL; 1986
16	OCXO	40 až 100	45 × 25 × 50	4239	90410		miniat. termostatovaný oscilátor se zvýšenou stabilitou, výroba od r. 1987

VF ZESILOVAČE, FILTRY...

Ing. Zdeněk Krupka, ing. Jiří Kuncl

(Dokončení z AR B1/87)

Když víme, který signál (signály) nás ruší a o kolik je jej potřeba zmenšit, podle toho zvolíme typ odlaďovače a zesilovače podle konstrukční části a zhotovíme si je. Potom je zapojíme a postupně naladíme na rušivý signál (signály), až rušení zmizí. Ladění je sice bez potřebných přístrojů pracné a zdlouhavé, ale lze je v amatérských podmínkách s úspěchem realizovat. Je třeba si jen uvědomit, že je třeba postupovat pečlivě, pomalu a trpělivě.

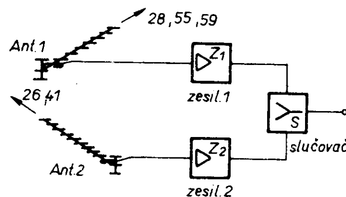
Nyní se vrátíme k situaci, kdy rušení intermodulací nebo křížovou modulací vzniká v samotném televizním přijímači. Potom zkoušky musíme začít tím, že zjistíme podle výše uvedeného popisu, který signál pravděpodobně ruší. Pak musíme použít zesilovač s odlaďovačem. Obdobně postupujeme zjistíme-li, že rušení vzniká již v prvním zesilovacím stupni, tzn. musíme také začít zesilovačem s odlaďovačem. V tomto případě je nevyhnutelné použít odlaďovač přímo na vstupu zesilovače. Typy odlaďovačů (a jejich konkrétní provedení) byly uvedeny v předchozích kapitolách.

Pro úplnost je třeba se ještě zmínit o tom, že příjem je možné realizovat ještě dalšími způsoby, např. kanálovým přeladitelným zesilovačem, pevnými kanálovými zesilovači sloučenými přes vhodný slučovač, popř. dalšími. Druhá varianta bude dále popsána.

7.4 Slabé signály z několika směrů

To je jeden z nejčastějších případů. I tato varianta příjmových podmínek má několik řešení, jedno z nejlepších je použít širokopásmový zesilovač a anténu s rotátorem. Toto řešení je, pokud jde o rotátor, nákladné, ale musíme si uvědomit, že na druhé straně ušetříme na anténách a zesilovačích. Jediný zesilovač, který v této variantě použijeme, dimenzujeme podle dříve uvedených zásad z hlediska šumu, zisku, odstupu intermodulací atd. S úspěchem opět můžeme použít variantu s jednostupňovým zesilovačem v anténní krabici a jedno nebo několikastupňový zesilovač můžeme umístit v přijatelné vzdálenosti od prvního na takovém místě, aby byl chráněn před povětrností i před případnými zloději. Blokové schéma této sestavy odpovídá blokovému schématu na obr. 133.

Kromě této varianty můžeme použít i jiné, např. několik širokopásmových zesilovačů sloučených přes slučovač z tzv. hybridních členů, nebo ze směrových vazebních členů, nebo přes slučovač s filtry *LC* (tzv. kmitočtová výhybka), dále je možné použít kanálové zesilovače sloučené přes vhodný slučovač podle předchozí varianty, vhodně sloučené konvertory, popř. kombinovat širokopásmové nebo úzkopásmové zesilovače a konvertory atd. Jak je vidět, možných způsobů je několik a záleží na možnostech a schopnostech každého, který si vybere. Popis všech možností by byl velmi rozsáhlý, proto budou popsány jen dvě typické varianty. Některé další budou následovat v odstavci 7.4.2.



Obr. 137. Sloučení širokopásmových zesilovačů

7.4.1 Sloučení několika širokopásmových zesilovačů

Tento problém lze řešit dvěma způsoby, buď širokopásmovými slučovacími prvky (tzv. hybridní členy nebo směrové vazební členy), nebo kmitočtově závislými prvky (kmitočtové výhybky).

Probereme si nejprve slučování širokopásmovými slučovacími prvky podle obr. 137, kde Z_1 a Z_2 jsou širokopásmové zesilovače a S je hybridní člen nebo směrový vazební člen (slučovač). Toto provedení je výhodné tím, že slučovací prvek se nemusí nastavovat, že jím lze slučovat kmitočtově velmi blízké kanály a že je výrobně poměrně jednoduchý. Má však i několik nevýhod.

1. Je to ztrátový prvek oproti kmitočtové výhybce, kterou lze zhotovit s velmi malým útlumem (<1 dB) v propustném pásmu.

2. Aby hybridní nebo směrový vazební člen správně plnil svoji funkci, musí být v daném kmitočtovém pásmu zakončen na všech svorkách jmenovitou impedancí. Znamená to, že není vhodné jím slučovat zesilovače s laděným výstupem nebo jiné kmitočtově závislé prvky, u nichž se mění jejich impedance v závislosti na kmitočtu.

3. Prvek nemá vlastní selektivitu, tzn., že se na jeho vstupu objeví všechny signály, které jsou na jeho vstupech. Ukažme si to na jednoduchém příkladu. Uvažujme, že podle obr. 137 jsou na výstupech zesilovačů Z_1 a Z_2 následující signály: na Z_1 žádané signály, např. 28, 55 a 59 ze směru hlavního laloku antény 1, a kanály 26 a 41 přijímané postranním, popř. zadním lalokem antény 1. Na výstupu Z_2 jsou žádané kanály 26 a 41 ve směru hlavního laloku antény 2 a kanály 28, 55 a 59 přijímané postranním, popř. zpětným lalokem antény 2.

Samozřejmě se může stát, že žádané a nežádané signály na výstupech zesilovačů jsou stejně velké. Dokonce může nastat i situace, že nežádané jsou silnější než žádané.

Nyní výstupy zesilovačů 1 a 2 sloučíme hybridním nebo směrovým vazebním členem. Na jeho výstupu se objeví signály ze zesilovače 1 (tj. žádané kanály 28, 55 a 59 a nežádané 26 a 41) a zesilovače 2 (tj. žádané 26 a 41 a nežádané 28, 55 a 59). Je třeba si uvědomit, že zesilovače zesilují všechny signály z antény.

Za této situace se samozřejmě budou jednotlivé signály z obou zesilovačů vzájemně rušit a velikost rušení bude záviset na amplitudových a fázových poměrech signálů. Obecně lze tedy shrnout, že na výstupu hybridního nebo směrového vazebního členu by měl být příslušný signál jen z jednoho zesilovače. Pokud by se tento signál objevil i na výstupu dalšího (popř. dalších) zesilovače, pak by měl být slabší nejméně o −40 dB, aby nezpůsobil znatelné rušení. Toto rušení se může projevit mnoha způsoby, např. tzv. rozmáznutím obrazu, zdvojenými obrysy, interferencemi apod.

Slučování signálu kmitočtově závislým obvodem, tzv. kmitočtovou výhybkou bylo probráno v kapitole 4. Stručně lze říci, že mají výhodu ve vlastní selektivitě a malém průchozím útlumu. Nevýhodou je, že lze obtížně slučovat kmitočtově blízké signály z několika zesilovačů, přičemž každý zesilovač zesiluje kmitočtově dosti rozdílné signály, ale všechny v jednom kmitočtovém pásmu. Ukažme si to na příkladech. Výhybkou dobře sloučíme např. signály ze zesilovače pro III. TV pásmo a zesilovače pro IV. a V. TV pásmo, nebo jednoho zesilovače např. pro kanály 21 a 24 a druhého pro kanály 43 a 51. Naproti tomu lze obtížně sloučit jedním zesilovačem zesílené signály na kanálech 21 a 43 a druhým signály na kanálech 24 a 51. Za této situace lze použít pouze sloučení pásmovými propustmi ve formě slučovače. Toto řešení je však již obtížné jak po stránce provedení, tak přesného nastavení.

7.4.2 Sloučení několika kanálových zesilovačů

Podle výkladu v kapitole 3 víme, že kanálové zesilovače mohou být uspořádány různě podle umístění selektivity v zesilovači. Z hlediska slučování jejich signálů je nejdůležitější tvar výstupního obvodu. Ten může mít dvě základní provedení: širokopásmové nebo úzkopásmové (laděné). Dříve, v době germaniových tranzistorů, se používaly zásadně kanálové zesilovače s laděným obvodem na výstupu. Dnes se tyto zesilovače používají méně, najdeme je zejména v profesionálních zařízeních, např. společných televizních anténách, televizních kabelových rozvodech apod. Zesilovače je možné slučovat kmitočtově závislými slučovači nebo tzv. sběrným vedením, které je použito např. u společných televizních antén typu TESA-S. Jako kmitočtově závislé slučovače lze použít kmitočtové výhybky z pásmových propustí, selektivní směrové vazební členy, slučovače z kruhových vedení atd. Podrobnější informace lze nalézt v odborné literatuře. Zásadou takto slučovaných zesilovačů je, že zesilovač musí mít na přijímaném kmitočtu jmenovitou výstupní impedanci a na ostatních kmitočtech obvykle impedanci blížící se k ∞.

S rozvojem moderních křemíkových tranzistorů lze zkonstruovat kanálové zesilovače, které mají širokopásmový výstup, tj. výstupní impedanci v širokém kmitočtovém pásmu blízkou jmenovité (75 Ω). Na výstupu se z hlediska impedance takové zesilovače jeví jako širokopásmové. Pak lze s výhodou použít ke slučování širokopásmové slučovací členy (viz

7.4.1). Navíc při tomto způsobu slučování u kanálových zesilovačů obvykle odpadá nevýhoda možnosti výskytu dvou stejných signálů z výstupu dvou zesilovačů, neboť zesilovače obvykle mají dostatečnou selektivitu.

7.5 Slabé a silné signály různých směrů

7.5.1 Použití širokopásmových nebo kanálových zesilovačů

Jde o případ jako v článku 7.3 s tím rozdílem, že signály přicházejí z různých směrů. Opět tedy můžeme použít širokopásmovou anténu (s rotátorem), k níž připojíme zesilovač s patřičným odlaďovačem nebo odlaďovači. Pokud je ovšem v místě příjmu rušivých signálů několik, je zapotřebí několik odlaďovačů a pak již jejich průchozí útlum nemusí být zanedbatelný. Postup při zjišťování směrů, z nichž rušivé signály přicházejí, a jejich velikosti byl popsán v čl. 7.3. Zde jen považuji za nutné upozornit, že rušivé signály mohou být různě silné a tudíž mohou způsobovat intermodulace nebo rušení křížovou modulací v prvním, druhém nebo dalším zesilovacím stupni. Podle toho tedy volíme rozmístění odlaďovačů. Samozřejmě nejjednodušší a nejjistější je dát odlaďovač přímo na vstup – potom můžeme ušetřit dost času experimentováním s velikostí rušicích signálů. Je-li žádaný signál velice slabý a záleží-li „na každém decibelu", vyplatí se pracovat pečlivě a trpělivě a umístit odlaďovač na takovém místě, aby na vstupu zesilovače byl co nejmenší nežádoucí útlum.

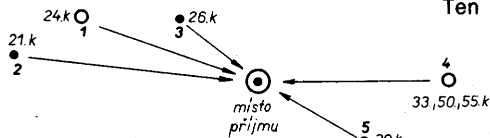
Rozhodneme-li se použít širokopásmové zesilovače s odlaďovači a nemůžeme nebo nechceme-li z jakéhokoli důvodu použít rotátor, jsme opět postaveni před otázku, jak tyto zesilovače sloučit. Způsoby sloučení byly popsány v čl. 7.4. Zvolená varianta závisí na konkrétních podmínkách. V tomto případě se často ukazuje jako výhodnější použít kmitočtově závislé (selektivní) slučovače, které v mnoha případech rušivé signály potlačí.

Dále lze použít i kanálové zesilovače sloučené podle odst. 7.4.2. Chci jen upozornit na to, že i v kanálových zesilovačích lze k lepšímu potlačení rušivých signálů použít odlaďovače (viz kap. 3 a 5).

7.5.2 Kombinace širokopásmového a kanálového zesilovače

Podle konkrétních podmínek může být často výhodné použít širokopásmový a kanálový zesilovač, jejichž výstupy lze sloučit širokopásmovým slučovacím členem podle obr. 137 (MP – místo příjmu).

Uveďme si jednoduchý příklad, který je na obr. 138. Chceme přijímat jediný slabý signál z vysílače 1 (např. 24. kanál). Přibližně ze stejného směru přicházejí silné signály z vysílačů 2 a 3 (např. 21. a 26. kanál). Přitom signály vysílačů 4 a 5 mohou být na svorkách antény, mířící na vysílač 1, nejen slabé, ale i poměrně silné. Dále chceme přijímat signál z vysílače 4 (např. 33., 50. a 55. kanál). Přibližně ze stejného směru přichází i signál z vysílače 5 (např. 30. kanál). Přitom signály z vysílačů 2, 3 ale zejména 1 jsou na svorkách antény mířící na vysílač 4 poměrně slabé, takže v zesilovači a na slučovači nevznikne od jejich signálů rušení. Pak můžeme použít sestavu z kanálového zesilovače na 24. kanál, který připojíme k anténě mířící na vysílač 1, a širokopásmový zesilovač s odlaďovačem na 30. kanál, který bude připojen k anténě mířící na vysílač 4. Po sloučení v širokopásmovém slučovači by měl být příjem všech signálů v pořádku za předpokladu, že v kanálovém zesilovači jsou dostatečně potlačeny kanály 21, 26 a 30, ale zejména 33, 50 a 55. Stejně tak na výstupu širokopásmového zesilovače nesmí být příliš silný signál 24. kanálu. Jinak se v tomto případě řídíme stejnými zásadami jako v čl. 7.4.



Obr. 138. Příklad příjmu několika vysílačů

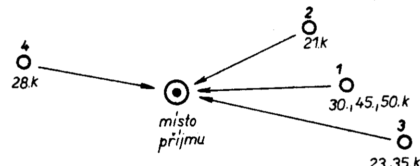
7.5.3 Kombinace širokopásmového zesilovače a konvertoru

Tuto kombinaci můžeme také často použít, zejména máme-li k dispozici hotový konvertor. Před časem byly v prodeji v prodejnách s levným zbožím různé pevně laděné konvertory za celkem přijatelné ceny. Případné přeladění pevných konvertorů je obvykle možné v rozmezí několika kanálů a nečiní větší potíže. Jedinou nevýhodou je, že většinou mají výstupní impedanci 300 Ω, úprava však není složitá a spočívá většinou ve vyjmutí impedančního transformátoru 75/300 Ω.

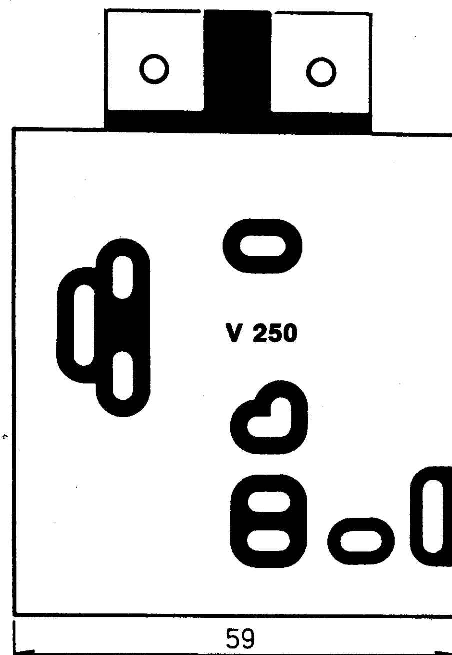
Použití kombinace konvertor-širokopásmový zesilovač si opět ukážeme na příkladu. Máme např. rozložení vysílačů podle obr. 139. Z vysílače 1 přijímáme např. kanály 30, 45 a 50. Dále na anténu v místě příjmu MP přicházejí i různé signály z vysílačů 2 a 3 z přibližně stejného směru (např. kanály 21, 23, 35). V tomto případě je výhodné použít širokopásmovou anténu se zesilovačem, který může mít popř. odlaďovače, což závisí na síle signálu a požadovaném příjmu. Dále chceme přijímat signál z vysílače 4, který je kvalitní, ale přichází na anténu nasměrovanou na vysílač 1 z takového směru, že jej není možné touto anténou přijímat. K příjmu vysílače 4 (vysílá např. na 28. kanálu) použijeme tedy další anténu, která může být kanálová YAGI a konvertor. Ten převede signál přijímaný na 28. kanálu do volného kanálu v I., II. nebo III. televizním pásmu. Signály z konvertoru a širokopásmového zesilovače se slučují nejčastěji (a nejjednodušeji) v kmitočtové výhybce. Běžně vyráběné konvertory měly zásadně laděný výstup. Jejich úprava na širokopásmový by byla možná pouze zařazením jednoduchého širokopásmového zesilovače za konvertor, čímž bychom dostali širokopásmový výstup. Pak by takto upravený konvertor a širokopásmový zesilovač bylo možné sloučit přes širokopásmové hybridní nebo směrový vazební člen.

8. Jednostupňový zesilovač pro TV pásmo VHF nebo rozhlas VKV

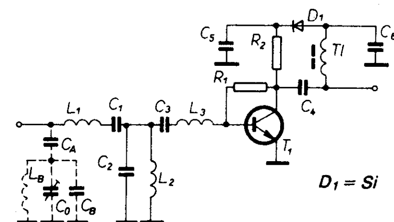
V pásmu kmitočtů do 250 MHz mají bipolární tranzistory tak velký zisk, že ve většině případů stačí k dostatečnému zesílení signálů jednostupňový zesilovač. Ten se dá s výhodou umístit přímo do



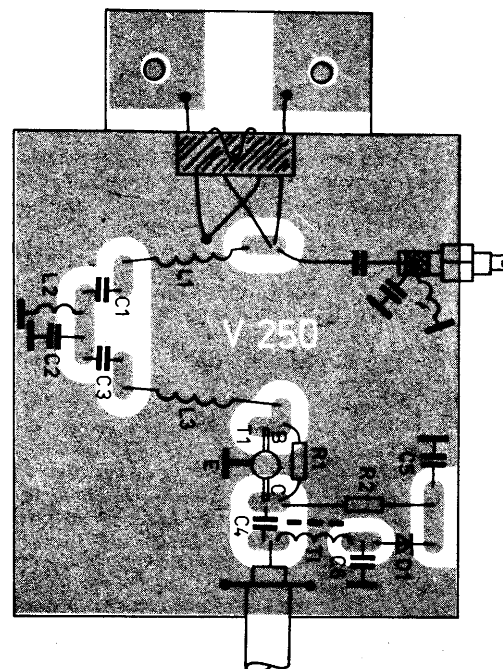
Obr. 139. Jiný příklad příjmu několika vysílačů



Obr. 140. Deska s plošnými spoji zesilovače TV pásma VHF nebo rozhlasu VKV



Obr. 141. Schéma zesilovače TV pásma VHF nebo rozhlasu VKV



Obr. 142. Rozložení součástek

anténní krabice. Na kmitočtech okolo 100 MHz dávají tranzistory typu BFT66, BFR90 okolo 25 dB zisku, KF590 z produkce TESLA okolo 20 dB. Na kmitočtech III. T pásma (kolem 200 MHz) potom BFT66, BFR90 přibližně 20 dB a KF590 asi 15 dB. Tyto zisky postačují ke krytí ztrát i velmi dlouhých souosých kabelů. Proto byla navržena univerzální deska s plošnými spoji (obr. 140), na níž je jednostupňový širokopásmový zesilovač a před ním Zobelova pásmová propust typu K. Zesilovač zůstává vždy stejný a mění se pouze prvky pásmové propusti. Volba pracovního bodu zesilovače byla popsána na několika místech tohoto AR, proto se o něm nebudeme zmiňovat. Schéma zesilovače je na obr. 141, rozložení součástek na obr. 142. Na obr. 143 a 144 jsou charakteristiky zesilovačů, na obr. 145 charakteristiky několika odlaďovačů pro zesilovač VKV–CCIR.

Seznam součástek

a) III. TV pásmo

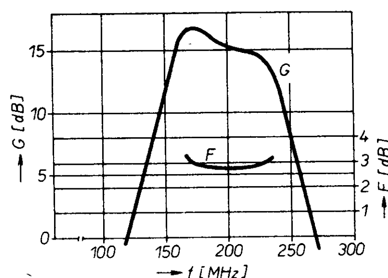
C_1, C_3	5,6 pF, TK 656 (755)	
C_2	22 pF, TK 754 (755)	
C_4	150 pF, TK 754 (774)	
C_5, C_6	1 nF, TK 724 (744)	
R_1	100 kΩ, TR 151 (191)	
R_2	1,5 kΩ, TR 151 (191)	
L_1	7 1/2 z	drátu
L_2	2 z	o ∅ 0,5 mm Cu
L_3	8 1/2 z	na ∅ 3 mm
Tl	napájecí tlumivka	
T_1	KF590 (BFT66, BFR90 atd.	

b) VKV–CCIR

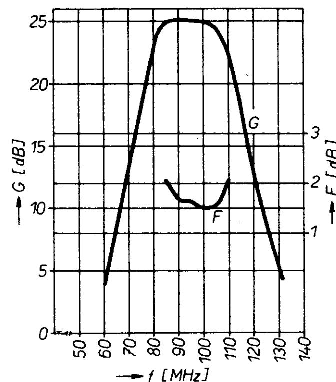
C_1	8,2 pF, TK 754 (755)	
C_2	82 pF, TK 754 (774)	
C_3	12 pF, TK 754 (755)	
C_4	150 pF, TK 754 (774)	
C_5, C_6	1 nF, TK 724 (744)	
R_1	100 kΩ, TR 151 (191)	
R_2	1,5 kΩ, TR 151 (191)	
L_1	11 1/2 z	drátu
L_2	2 1/2 z	o ∅ 0,5 mm CuL
L_3	13 1/2 z	na ∅ 4 mm
Tl	napájecí tlumivka	
T_1	BFT66 (KF590 apod.)	

Charakteristika zesilovače pro III. TV pásmo na obr. 143 platí pro tranzistor KF590, u něhož byl nastaven pracovní bod přibližně 6,5 V/7,5 mA. Pro správné nadladění je nejkritičtější indukčnost cívky L_2 (popř. rezonance obvodu L_2/C_2). Při dodržení počtu závitů a tvaru cívek (obr. 147) je reprodukovatelnost velmi dobrá. Obvody L_1/C_1 a L_2/C_2 ovlivňují hlavně tvar přenosové charakteristiky. Přizpůsobení na vstupu je velmi dobré, PSV = 1,4. Pokud je to potřeba, je samozřejmě možné uzavřít celý zesilovač do krabičky např. z pocínovaného plechu (obr. 146). Dále je také možné použít odlaďovače.

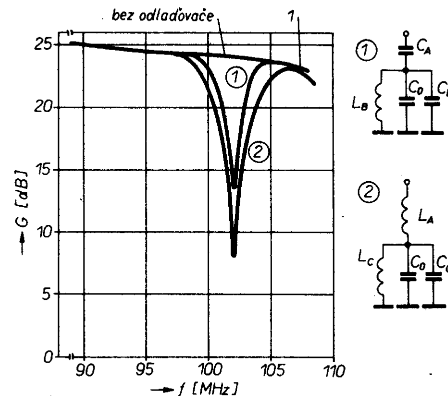
U zesilovače pro rozhlas VKV–CCIR byl použit tranzistor BFT66 s pracovním bodem 6,5 V/7,5 mA při napájení 18 V. Pro uvedený tranzistor a pracovní bod platí charakteristika na obr. 144. Vstupní PSV = 1,2. Stejně dobře vyhoví i tranzistor KF590 nebo BF490, šumové číslo se však zvětší na F = 2,3 až 3,0 dB. Použít tranzistor BFR90 nebo BRQ69 je zde zbytečné, protože s nimi se dosahuje šumových čísel větších než 2 dB. U zesilovače byla ověřena možnost použít jednoduchý odlaďovač signálu o kmitočtu asi 102 MHz. Naměřené výsledky jsou na obr. 145. Tvaru odlaďovače se sériovou kapacitou odpovídá křivka *1,* přičemž součástky byly C_A = 4,7 pF, C_B = 22 pF, C_O = 0,5 až 4,5 pF, L_B = 6 závitů (∅ 0,5 mm CuL) na ∅ 3 mm. Křivka *2* odpovídá odlaďovači se sériovou indukčností a se součástkami L_1 = 24 1/2 z, L_6 = 8 1/2 z, C_6 = 22 pF, C_O = 0,5 až 4,5 pF.



Obr. 143. Charakteristika zesilovače pro III. TV pásmo



Obr. 145. Charakteristiky odlaďovačů



Obr. 144. Charakteristika zesilovače pro rozhlas VKV-CCIR

Oba odlaďovače byly vybrány tak, aby měly co největší strmost boků při útlumu min. −10 dB. Odlaďovače „se chovaly lépe", když byly před pásmovou propustí. Při připojení na bázi tranzistoru měl tentýž odlaďovač mnohem větší útlum při velice špatné strmosti boků. Pokud byl upraven tak, aby měl stejný útlum v pólu, měl vždy horší strmost než odlaďovač, zapojený na vstupu. Je to způsobeno impedančními poměry v obou místech. Porovnáním v kap. 5 zjistíme, že se liší součástky – je to způsobeno impedančními poměry v místě připojení odlaďovače. V kap. 5 byly charakteristiky měřeny na impedanci 75 Ω, zde je vždy z jedné strany připojena pásmová propust.

ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

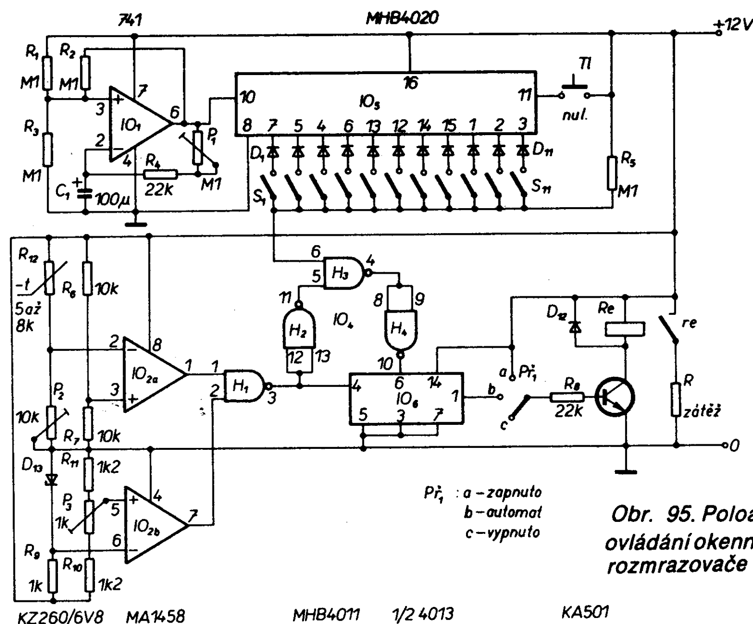
(Dokončení z AR B4/86)

Poloautomatické ovládání okenního topení u auta

Když v tuhé zimě ráno přijdeme k vozu, okna jsou zamrzlá a musíme jinovatku seškrabovat. Nechat zapnuté topení na rozmrazování přes noc znamená vybít akumulátor a vůz nenastartujeme.

Přístroj podle obr. 95 tyto potíže může odstranit. Máme široké možnosti nastavit časovou prodlevu (až 12 hodin), po uplynutí nastavené doby zařízení zapne topení, ale jen tehdy, máme-li akumulátor v takovém stavu, že jej můžeme zatížit topením a hrozí-li nebezpečí zamrznutí okna, tedy v závislosti na teplotě.

Přístroj pracuje takto: Taktovací generátor s IO_1 vyrábí pravoúhlé impulsy určitého kmitočtu, které jdou do čtrnáctibitového binárního čítače (IO_5) MHB4020. Podle toho, který nebo které spínače z S_1 až S_{11} jsou sepnuté, dostaneme na výstupu časovou prodlevu až 12 hodin podle tabulky:



Obr. 95. Poloautomatické ovládání okenního rozmrazovače

Spínač (sepnuto)	hodiny	minuty	sekundy
11	12		
10	6		
9	3		
8	1	30	
7		45	
6		22	32
5		11	16
4		5	38
3		2	48
2		1	24
1			42

Generátor nastavíme tak, aby při sepnutém S_1 dával jeden impuls asi na 42 sekund. Na velké přesnosti nezáleží. Před každým nastavením čítač spínačem S_{13} vynulujeme. Nyní již můžeme nastavit libovolnou dobu prodlení. Kupř. chceme nastavit 8 hod 45 minut, tedy sepneme S_{10}, S_8, S_7, S_6, S_4 a S_2.

Výstupní impuls – log. 1 – podle nastavené zpožďovací doby se dostane na vstup *6* hradla H_3, na jeho výstupu je log. 0. Logika čtyř hradel IO_4 je upravena tak, že jsou řízeny teplotou a napětím akumulátoru. Tyto stavy vyhodnocuje dvojitý operační zesilovač IO_2. Tedy mrzne-li a akumulátor má více než 11 V a je-li $Př_1$ v poloze b (automat), relé přitáhne a sepne topení. Topení pak vypínáme ručně. Trimrem P_2 se nastaví teplota tak, aby výstup *1* IO_2 byl při 0 °C (nebo podle vlastního uvážení) log. 0. Trimrem P_3 se nastaví výstup 7 IO_2 tak, aby při napětí baterie 11 V byla na něm úroveň log. 0. Tedy: Chceme-li ráno vyjet v 6 hodin, večer asi v 8.45 hodin zapneme automat, který asi půl hodiny před odjezdem sepne topení, akumulátor nebude vybitý, ve voze už nebude taková zima a okno bude také čisté.

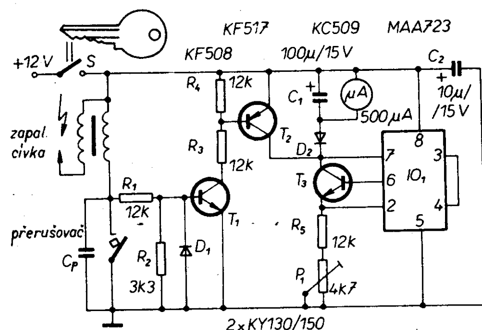
Elektor 7–8/1979

Měřič úhlu sepnutí

S popsaným měřičem úhlu sepnutí je nastavení motoru velmi jednoduché. Průběh je lineární a nezávislý na teplotě. Měří úhel sepnutí v celém rozsahu, tj. od 0 do 100 %, výsledek lze přímo číst na stupnici měřidla, která je dělena na sto dílků.

Zapojení je jednoduché podle obr. 96. Tranzistor T_3 a IO_1 slouží jako zdroj konstantního proudu. Teplotní stabilizaci zajišťuje obvod IO_1, u něhož vnitřní tranzistor spolu s T_3 tvoří Darlingtonovo zapojení s velkým proudovým zesílením.

Je-li přerušovač otevřen, vedou tranzistory T_1 a T_2 a kolektorový proud T_3 teče přes T_2, měřidlem proud neprotéká. Uzavře-li se přerušovací kontakt, uzavřou se tranzistory T_1 a T_2, proud zdroje protéká měřidlem a nabíjí kondenzátor C_1. Při střídavém otevírání a spínání přerušovacího kontaktu se C_1 nabíjí na střední hodnotu: čím delší je doba sepnutí kontaktu, tím bude na kondenzátoru větší napětí, tím větší bude výchylka ručky měřidla.



Obr. 96. Měřič úhlu sepnutí kontaktů

Nastavení je velmi jednoduché: zapneme napájecí napětí a zkratujeme kondenzátor C_p, tj. vstup. Trimrem P_1 ručku měřidla nastavíme na plnou výchylku, na 100 %. Tím je cejchování ukončeno.

Měřidlo je možné použít i vestavěné trvale do vozu, příp. ho současně použít s přepínačem i pro měření jiných údajů.

Elektor 6–8/1979

Úvahy o zabezpečovacích zařízeních proti vloupání

Víme, že vloupání do bytů, chat, vozů, obchodů apod. nejsou žádnou raritou. I když neexistuje žádná absolutní ochrana proti vloupání, vhodným opatřením se dá zvýšit bezpečnost a zmenšit možnost vloupání na minimum. Jako všude v našem životě, i zde nastoupí (popř. může nastoupit) elektronika, která převezme úlohu ochrany majetku. Přitom se však setkáváme s několika problémy, které předem musíme vyřešit, aby zabezpečovací zařízení opravdu mohlo spolehlivě sloužit. Předpokládáme přitom, že na dveřích máme bezpečné zámky, a že ty zámky také při odchodu zavíráme.

1. Předem musíme vyřešit, kdo nám v případě poplachu přijde na pomoc. Je pravda, že když zloděj při své „práci" spustí poplach, obvykle nebude hledat místo, kde lze signál vypnout, ale pravděpodobně uteče – ovšem nemusí tomu tak být vždy. V opuštěné chatě, kde širokodaleko nikdo není, zvukové signály nikoho nezavolají, aby chytl zloděje, a tak zloděj může klidně hledat, jak signál vypnout a pak pokračovat v načatém díle. Mnohdy je to obdobné i v rodinném domku, kde nikdo není, ale i v činžáku, kde během pracovní doby ve dne není ani noha. Pachatel to může vypozorovat a jít téměř na jisto. V těchto případech je těžká rada, protože poplachový signál musí být přiveden tam, odkud můžeme očekávat rychlou pomoc – a to závisí na místních poměrech. Tedy, když chceme postavit jakékoli zabezpečovací zařízení, předem musíme vyřešit přivolání pomoci.

2. Druhým – ale již snadněji řešitelným – problémem je napájení. Nejjednodušší je síťové napájení (obvykle transformátorem), ale stoprocentní jistotu také nemáme. Síťové napětí může také vypadnout (vypnutí sítě, porucha při bouřce), zkušenější zloděj vyšroubuje pojistky, popř. přeruší vedení a máme po zabezpečovacím zařízení. Proto je výhodnější zařízení napájet z akumulátoru, který stačí napájet i výkonnější poplachový signál a v klidovém stavu je schopen napájet zařízení i několik dnů nebo desítek dnů. Aby napájecí napětí bylo stoprocentně zajištěno, akumulátor stále nabíjíme malým proudem ze sítě. Když je síť přechodně vypnuta, je pak akumulátor plně připraven napájet zařízení.

3. Zařízení má hlídat i sebe. V případě poruchy zařízení má dávat signál, že něco není v pořádku a přístroj svou funkci nemůže zastat. Celé zařízení včetně napájení má být umístěno uvnitř chráněného objektu a navíc skrytě.

4. Neméně důležitá je i otázka čidel. Je výhodné, když čidla můžeme zdvojovat, příp. použít několik druhů čidel ke stejnému úkolu. Ani na způsob umístění a druh čidla nelze dávat univerzální recept, bude záviset na konkrétních podmínkách.

Podle jedné statistiky pravděpodobnost cesty vniknutí do rodinného domku vypadá takto:

vchod do sklepa	25 %,
přízemní okno	14 %,
vchod z terasy	13 %,
hlavní vchod	12 %,
okno do sklepa	12 %,
mříže (sklep apod.)	10 %,
balkón	5 %,
garáže	5 %,
střešní okna apod.	4 %.

Tato statistika nevystihuje možnost vniknutí do bytu ve velkých obytných domech, kde hlavní a snad jedinou možností vniku (kromě přízemí) jsou hlavní dveře otevřením, vypáčením nebo rozlomením zámku. Může přicházet v úvahu i vniknutí balkónem.

Velmi důležitým a můžeme říci rozhodujícím prvkem při ochraně je výběr správného čidla nebo senzoru, kterým uvedeme v činnost poplašné zařízení.

Čidla můžeme použít nejrůznějších druhů a typů podle charakteru aplikace. Jsou elektromechanická a elektronická (akustická, optická, kapacitní, vysokofrekvenční, kombinovaná). Elektromechanická čidla reagují na mechanické změny: tlak, chvění, úder, přerušení vedení, sepnutí nebo rozpojení kontaktů, přerušení magnetického obvodu apod.

Elektronická čidla jsou např. akustická, která reagují na zvuk při vrtání a bourání zdí, rozbití oken, nebo hlídají pomocí ultrazvuku. Optická čidla reagují na přerušené světelné nebo infračervené závory, rozsvícení světla ve tmě, indikují infračervené záření cizího těla. Vysokofrekvenční zařízení indikují přerušení homogenního vf pole nebo změnu kmitočtu, kapacitní čidla reagují na blízkost cizího tělesa.

Pomocí těchto a ještě i jiných čidel můžeme tedy hlídat v podstatě cokoli.

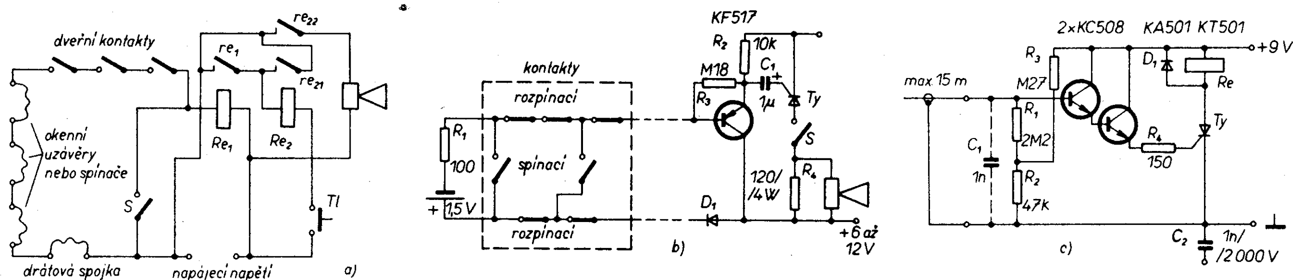
Při ochraně vnitřního prostoru umístíme čidla na dvoře, na okna, na zeď, na strop, příp. i na podlahu. Uzavřený prostor můžeme naplnit ultrazvukovými nebo vf vlnami. Můžeme nastavit past, přes kterou narušitel musí procházet. To může být světelná nebo infračervená závora, můžeme umístit na dveřích, oknech, zámcích magnetické kontakty, čidla chvění, kontakty pod koberce, kontaktní čidla na obrazy apod. Odposlouchávací čidla reagují na sebemenší zvuk, kapacitní na přiblížení atd.

Vidíme tedy, že možností je nepřeberné množství, vybrat si můžeme podle charakteru hlídaného objektu a podle – často omezených – technických i finančních možností.

Okna a dveře nejčastěji zabezpečujeme kontakty, které spínají nebo rozpojují elektrický obvod. Tyto kontakty mají být uspořádány tak, aby se při oddálení dveří nebo okna od rámu již o několik milimetrů sepnuly nebo rozpojily. Kontakty mohou být realizovány z pružin, z mikrospínačů, magnetických kontaktů apod. Na jedné straně to bude např. malý magnet (obvykle feritový), protějškem je jazýčkový kontakt, zatavený do skla. Při těsné blízkosti magnetu kontakty budou sepnuty, oddálením magnetu o několik milimetrů se kontakty rozpojí. Tyto elektromechanické kontakty můžeme uspořádat různě, můžeme zapustit obě části do rámu, aby byly neviditelné a nemohly být cizí osobou pozorovány a vyřazeny z provozu.

K elektromechanickým senzorům patří např. rtuťové kontakty. V uzavřené skleněné trubičce jsou kovové kontakty, které spojuje rtuť, když se trubička dostane do určité polohy. Past je nastavena tak, že se při porušení klidového stavu trubička nakloní a tekutá rtuť spojí kontakty.

Elektromechanické kontakty lze používat také jako tlakové senzory. Jejich umístění bude nejvýhodnější pod prahem, pod



Obr. 97. Různé druhy jednoduchých poplašných zařízení

stabilní podložkou na očištění bot, pod kobercem. Hmotností nepovolané osoby se kontakty spojí nebo rozpojí. Pro tyto účely jsou nejvhodnější mikrospínače. Obdobně můžeme jistit i obrazy na stěnách, jejich odklopením se mikrospínač vrátí do své původní polohy a přeruší nebo sepne elektrický obvod.

Jednoduché poplašné zařízení je na obr. 97a. Napájení může být síťové se zálohovaným zdrojem, nebo jen z akumulátoru, protože klidový odběr je velmi malý. Jsou použita dvě relé, Re_1 je kontrolní, s malou spotřebou, při pohotovostním stavu je stále přitaženo (může být i polarizované relé telefonní, starší typ se spotřebou do 1 mA). Malý proud dovoluje, abychom pro past použili tenké, téměř neviditelné dráty, jejichž odpor v tomto případě nerozhoduje. V tomto systému jsou čidla zapojena sériově. Je-li drát přerušen, relé nedostane napájecí napětí, kontakty odpadnou a přes klidové kontakty se sepne Re_2. Přes kontakty re_{21} zůstává relé sepnuto a poplachový signál zní i při obnovení přerušeného vedení dále, dokud nestiskneme tlačítko Tl. Celý poplachový systém můžeme vyřadit z provozu spínačem S. Spínač S je třeba umístit na skrytém místě.

Zkušený zloděj může (i když s obtížemi) neutralizovat poplašné zařízení tím, že předem překlene kontakty, jejichž přerušení vyvolá poplach. Zařízení na obr. 97b není možné vyřadit z provozu ani přemostěním kontaktů, ani jejich přerušením. Jako čidla používáme spínací i rozpínací kontakty. Tak kupř. okno i dveře můžeme jistit dvěma kontakty, spínacími a rozpínacími. Systém ani nepotřebuje relé, které při dlouhém pohotovostním stavu může vypovědět službu. Při nepatrném odběru ze zdroje udržuje obyčejná baterie pohotovostní stav i několik měsíců.

Spínačem S na skrytém místě se přivádí napětí na tyristor Ty, popř. na klakson. Tyristor je uzavřen, protože napětí 1,5 V udržuje tranzistor v nevodivém stavu. Bude-li sepnut jeden ze spínacích kontaktů, otevře se přes R_3 tranzistor, otevře se tyristor, a zazní poplašný signál. Při přerušení vedení od senzorů, nebo při rozpojení rozpínacích kontaktů se tyristor otevře stejně, jako v předešlém případě, a signál bude trvalý, dokud spínač S nebude rozpojen. Tyristor volíme podle druhu klaksonu.

Na obr. 97c je poplašné zařízení, které je uváděno v činnost přiblížením nebo dotykem. Má mnohostranné možnosti použití. Jako dotykový spínač jej můžeme používat tak, že ho spojíme s libovolným kovovým předmětem, který má být hlídán a který je odizolován od země. To může být drát, klika u dveří, hlídaný předmět atd. Jako senzor přiblížení použijeme stíněné vedení, které propojíme s kovovým předmětem, který nemá vůči zemi kapacitu větší než 10 pF. Při přiblížení k takovému předmětu se uvede v činnost poplašné zařízení.

Zařízení pracuje takto: signál na bázi T_1 je vyvolán dotykem nebo přiblížením, vzniklý brum zesilují tranzistory v Darlingtonově zapojení. Silně zesílený brum otevírá tyristor, který zůstává v otevřeném stavu. Relé je napájeno přes tyristor a jeho kontakty spínají poplachový signál. Relé můžeme i vynechat a signál může spínat tyristor. Signál lze vypnout jen přerušením napájecího napětí. Když přístroj použijeme jako dotykový senzor, kondenzátor C_2 nezapojíme a kladné napájecí napětí uzemníme (vodovod, ústřední topení, ale ne plynové vedení). Při použití jako kapacitní senzor (přiblížení) napájecí napětí nezemníme, vývod kondenzátoru (bezpodmínečně použít na 2000 V!) C_2 připojíme na fázové vedení sítě. Při použití stíněného kabelu délky asi 15 m kondenzátor C_1 vynecháme. Bude-li kabel kratší, na metr kabelu počítáme asi 80 pF, celková kapacita kabel $+C_1$ nemá však být větší než 1 nF. Kondenzátor C_1 zapojíme jen v případě, použijeme-li přístroj jako kapacitní senzor.

Ročenky Rádiótechnika 1975, 1982
Rádiótechnika 2/1982

Kapacitní indikátor přiblížení

Indikátor se může hodit nejen pro hlídání auta, ale i pro zabezpečení různých předmětů proti odcizení. Zařízení vyvolá poplach nejen při pokusu o otevření dveří u auta, ale i při těsném přiblížení se (nebo dotyku) k určitému místu.

Zapojení podle obr. 98 je indikátorem změny kapacity snímače (kovová deska, izolovaná od země). Snímač (čidlo) umístíme třeba na okenní sklo vedle řidiče, příp. i na další okna, kde předpokládáme dotyk nepovolané osoby. Snímač může tvořit i pásek hliníkové fólie.

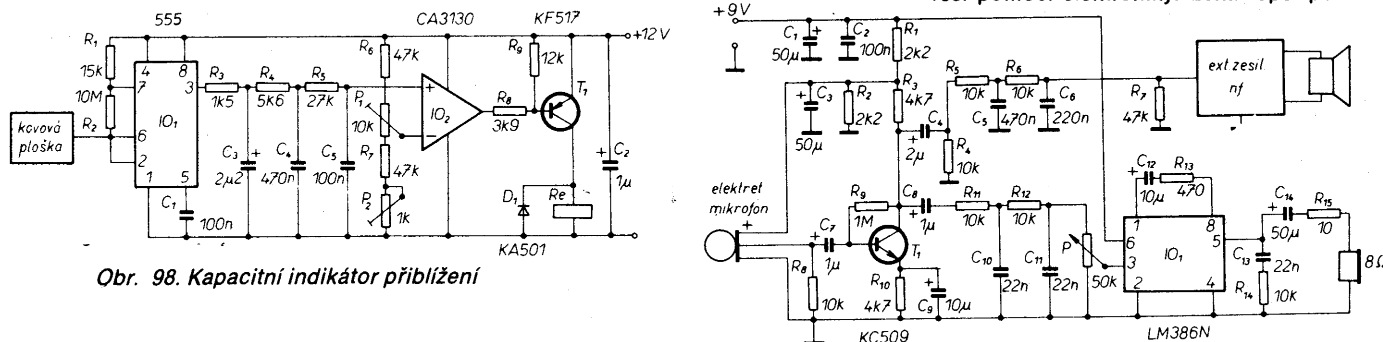
Po zapnutí přístroje začíná kmitat IO_1 jako astabilní multivibrátor. Jeho kmitočet je dán R_1, R_2, kapacitou čidla a vnitřní kapacitou obvodu. Na výstupu můžeme pozorovat osciloskopem pravoúhlé kmity. K výstupu je připojen tříčlenný integrační řetěz, na R_5 bude již stejnosměrné napětí, které odpovídá střední velikosti výstupního signálu z IO_1. Toto napětí přivádíme na neinvertující vstup IO_2 (v podstatě lze použít i 741), který pracuje jako komparátor s velkým zesílením. Jeho pracovní bod se nastavuje hrubě i jemně trimry P_1 a P_2 tak, aby v klidovém stavu bylo napětí na invertujícím vstupu o něco menší, než je napětí na neinvertujícím vstupu. Na výstupu IO_2 bude velké napětí, tranzistor T_1 bude uzavřen. Když se přiblížíme k čidlu, bude se měnit kmitočet multivibrátoru, mění se i činitel plnění impulsů. Tyto změny postačí, aby se nastavený stav komparátoru změnil, IO_2 se jednou nebo několikrát překlopí. Malé napětí na jeho výstupu vybudí T_1 a relé na okamžik přitáhne. Relé můžeme vybavit „samodržným" obvodem, který buď stále, nebo na několik sekund udrží sepnuté kontakty, aby poplachový signál trval delší dobu.

Stejným způsobem můžeme zabezpečovat různé předměty volně položené, příp. i na stěně visící obrazy, předměty vystavené za sklem apod.

Ročenka Rádiótechnika 1986

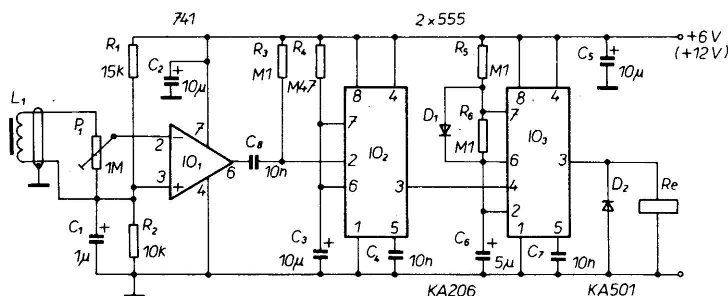
Elektronický stetoskop

Od té doby, co před stosedmdesáti lety bretonský lékař Laennec vynalezl stetoskop pro vyšetřování poslechem, princip stetoskopu neprošel žádnými revolučními změnami. Zprvu to byla jakási dřevěná „trumpeta", zvukovod, v současné době je to také zvukovod, jen snímání je membránové. Ani následující popis co do principu nechce měnit podstatu, jen snímání a zesílení sledovaných „šelestů" řeší pomocí elektroniky. Lékař opět po-

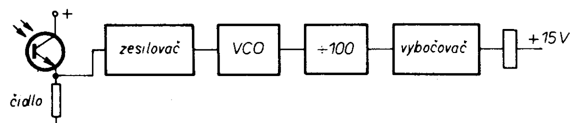


Obr. 98. Kapacitní indikátor přiblížení

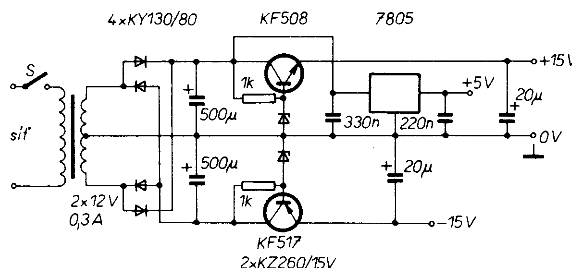
Obr. 99. Elektronický stetoskop



Obr. 100. Světelný zvonek k telefonu



Obr. 101. Automatické expoziční hodiny – základní zapojení



Obr. 103. Zdroj k expozičním hodinám

slouchá sledované „šelesty" sluchátky na uších, navíc může být zapojen zvláštní zesilovač s reproduktorem, aby příp. i další osoby mohly sledovat snímané jevy.

Hlavní součástí přístroje (obr. 99) je elektretový mikrofon se třemi vývody, jaký bývá vestavěn do moderních magnetofonů. Takové mikrofony mají tři vývody a potřebují napájení. Jsou velmi citlivé a relativně velmi levné. Signál snímaný mikrofonem přichází na tranzistor T_1, který slouží jako předzesilovač a zesiluje nf zvuky (signály práce srdce a plic). Zesílený signál prochází filtračním obvodem a po dalším zesílení jej lékař může slyšet ze sluchátka.

Pro napájení postačí devítivoltová destičková baterie, kondenzátory C_1 a C_2 slouží k filtraci napájecího napětí. Elektretový mikrofon je napájen z děliče R_1 a R_2. Filtrační kondenzátor C_3 je na napětí asi 3,5. Předzesilovač s T_1, R_3, R_8 až R_{10} a C_{10} spolu s C_7 a C_9 zesiluje především signály nízkých kmitočtů. Zesílený signál z kolektoru T_1 přichází přes C_4 nebo C_8 na dva výstupy: jednak do externího zesilovače pro hlasitý poslech, jednak na regulační potenciometr a zesilovač pro sluchátko. V původním článku je použit monolitický zesilovač LM386, který potřebuje malé napájecí napětí. Místo tohoto zesilovače můžeme použít MBA810 nebo MBA915, které jsou u nás k dostání.

Jako sluchátko by byl nejvhodnější jakýkoli typ z walkmana.

Filtry R_4 až R_6 a kondenzátory C_5, C_6, popř. R_{11}, R_{12} a C_{10}, C_{11} odřezávají signály vyšších kmitočtů, aby šelesty nízkých kmitočtů byly výraznější.

Snímací mikrofon je umístěn v pouzdře ve tvaru polokoule (asi půlka pingpongového míče) a je připojen k přístroji stíněným kabelem. Celé zařízení bez externího zesilovače lze postavit na desku s plošnými spoji asi 100 × 60 mm. Jako externí zesilovač můžeme použít libovolný zesilovač, který dobře přenáší signály nízkých kmitočtů.

Électronique pratique č. 87/1985

Světelný zvonek k telefonu

Mnohdy bychom potřebovali, aby telefonní zvonek byl zdvojen nebo nahrazen intenzívním světelným signálem (hluk v místnosti, několik telefonů, aby telefon nerušil nemocného, spánek apod.). Pro podobné účely může sloužit zařízení na obr. 100.

Signál pro zvonek telefonu (i když je zvonek vypnutý) snímáme indukční cívkou, která je přísavkou připevněna k telefonu. Cívka má asi 3000 závitů drátu o ∅ 0,1 mm a je navinuta na kostřičce o ∅ asi 20 mm s feritovým jádrem. K přípravku vedeme vývody stíněným kabelem.

Při zazvonění telefonu přicházejí na operační zesilovač impulsy, na jeho výstupu se v rytmu zvonění objevuje nula nebo téměř plné napájecí napětí. Citlivost nařídíme trimrem P_1. Záporné hrany impulsů z výstupu OZ řídí přes C_8 časovač IO_2, který pracuje jako monostabilní multivibrátor. První přicházející impuls překlopí obvod a na jeho výstupu zůstává podle časové konstanty R_4, C_3 signál v trvání asi 5 s, kterým je aktivizován IO_3. Ten pracuje jako astabilní multivibrátor. Během trvání signálu z IO_2 spíná a rozpojuje připojené relé několikrát. Kontakty relé pak spínají žárovku, která bliká a tím oznamuje, že telefon zvoní.

Zařízení je možné napájet napětím 6 až 12 V, klidový proud při napájení 6 V je asi 10 mA. Odběr relé nesmí překročit 150 mA.

Elektor 7–8/1984

Automatické expoziční hodiny

Velmi zajímavým způsobem řeší automatické expoziční hodiny dále uvedené zapojení.

Základní zapojení je na obr. 101. Odražené světlo z průmětny dopadá na fototranzistor, který dodává proud podle intenzity světla. Proud fototranzistorem vyvolá určitý úbytek napětí, který se zesiluje. Na výstup zesilovače je připojen napětím řízený oscilátor – VCO, který kmitá na kmitočtu, úměrném vstupnímu napětí; kmitočet se pro dosažení větší přesnosti dělí stokrát a po načítání 100 impulsů logická část dává povel k přerušení expozice.

Podrobné zapojení je na obr. 102. Fototranzistor (příp. fotodioda) se otevírá podle osvětlení zvětšovacího papíru a jeho proud protéká rezistorem R_1. Napětí na R_1 bude úměrné intenzitě osvětlení, přivádíme jej na neinvertující vstup operačního zesilovače. Zesílení bude

$$A = \frac{(P_2 + R_2)}{P_2}.$$

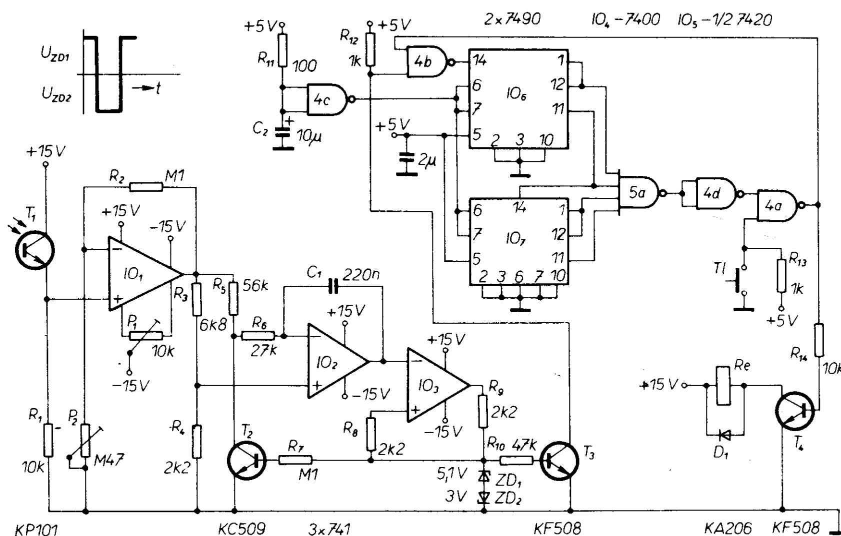
Napětí z výstupu IO_1 je přivedeno na VCO. IO_2 je ve funkci integrátoru, jeho časová konstanta je dána R_6C_1. IO_3 pracuje jako komparátor, na jeho výstupu je napětí kolem 15 V. Kmitočet VCO závisí na poměru R_4/R_3+R_4, na výstupním napětí IO_1, na Zenerově napětí diod ZD_1 a ZD_2 a na součinu R_6C_1. Podmínkou linearity (tedy lineární závislosti vstupního napětí a kmitočtu výstupního signálu) je

$$\frac{R_5}{R_6} = \frac{1 - 2x}{x}, \text{ kde } x = \frac{R_4}{R_3 + R_4}.$$

Podle toho kmitočet oscilátoru bude

$$f = \frac{xU}{2(U_{ZD_1} - U_{ZD_2})R_6C_1},$$

kde U je vstupní napětí VCO.



Obr. 102. Zapojení automatických expozičních hodin a výstupní napětí VCO

Výstupní napětí VCO závisí na diodách ZD_1 a ZD_2 podle obr. 102. Výstupní napětí VCO se převádí na úroveň TTL tranzistorem T_3.

Při zapnutí přístroje je kondenzátor C_2 vybitý a oba čítače mají na vstupech *6* a *7* log. 1. Po dobu určenou $R_{11}C_2$ bude C_2 nabit a na uvedených vstupech čítačů se změní stav na log. 0, takže oba čítače budou nastaveny na číslo 9. Tento stav zůstává zachován až do stisku tlačítka Tl. Číslu 9 podle pravdivostní tabulky odpovídá na výstupech A a D log. 1. Proto na vstupech hradla 5a bude log. 1, na jeho výstupu bude log. 0, na vstupu hradla 4d bude log. 1, tato úroveň je přivedena na jeden ze vstupů hradla 4a. Na druhý vstup tohoto hradla je připojeno tlačítko, při jeho sepnutí se objeví na chvíli log. 0, na výstupu hradla bude log. 1. To umožní aby přes hradlo 4b mohly procházet impulsy z VCO a čítač IO_6 začíná počítat. Log. 1 na výstupu hradla 4a otevře přes R_{14} tranzistor T_4 a relé přitáhne, jeho pracovní kontakty sepnou žárovku zvětšovacího přístroje a expozice začíná.

Do příchodu prvního impulsu na vstup IO_6 bude na výstupech A a D (12, 11) log. 0 a na výstupu hradla 5a bude log. 1, na výstupu hradla 4d bude log. 0. Dále až do dosažení čísla 99 bude na některém ze vstupů hradla 5a log. 0, na jednom ze vstupů hradla 4a bude také log. 0 a do odpočítání 100 impulsů jeho výstup zůstává na úrovni log. 1, relé zůstává přitaženo. Při ukončení čítání (stav 99) se na vstupech hradla 5a objeví log. 1, nastane počáteční stav, celý logický řetěz se vrátí do počátečního stavu, relé odpadne, expozice skončí. Nová expozice může začít po sepnutí tlačítka.

Vidíme tedy, že délka expozice, tj. doba trvání 100 impulsů závisí na intenzitě osvětlení, tedy na kmitočtu VCO. K napájení přístroje potřebujeme napájecí napětí ±15 V a +5 V pro napájení operačních zesilovačů a obvodů TTL, zapojení zdroje je na obr. 103.

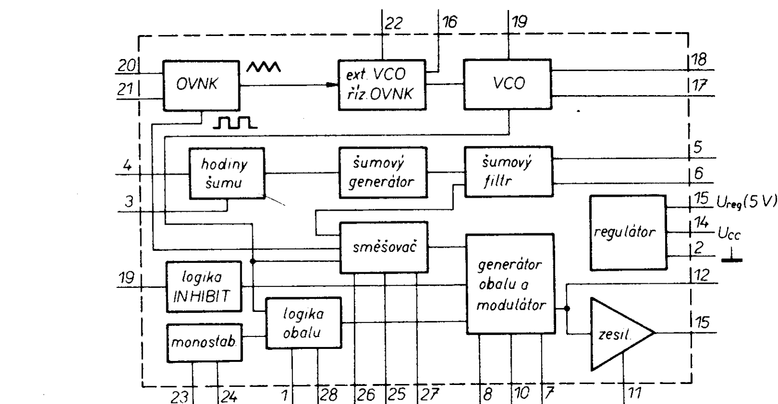
Fototranzistor je třeba umístit do trubkovitého krytu tak, aby stále byl ve stejné poloze a „díval se" asi na střed průmětny. Protože naše fototranzistory jsou citlivé především v oblasti infračerveného záření, čidlo není vhodné pro barevnou fotografii. Při speciálních (modrých) fotodiodách by bylo možné expozimetr použít i při „barevném" zvětšování. Místo IO_2 a IO_3 můžeme použít i dvojitý OZ, kupř. MAA1458.

Při oživení přístroje nejprve kontrolujeme napájecí napětí. Je-li vše v pořádku, nastavíme ofset u IO_1. Odpojíme emitor fototranzistoru a neinvertující vstup IO_1 spojíme se zemí. Na jeho výstupu nastavíme trimrem P_1 přesně nulu. Potom vše uvedeme do původního stavu. Zkusmo uděláme bez automatu dobrou zvětšeninu a pak se snažíme s automatem dosáhnout stejné jakosti nastavováním trimru P_2. Tím je přístroj ocejchován pro určitý druh papíru. Při použití jiného druhu papíru musíme cejchovat znovu, popř. lze použít několik trimrů P_2 a přepínat je podle druhu papíru.

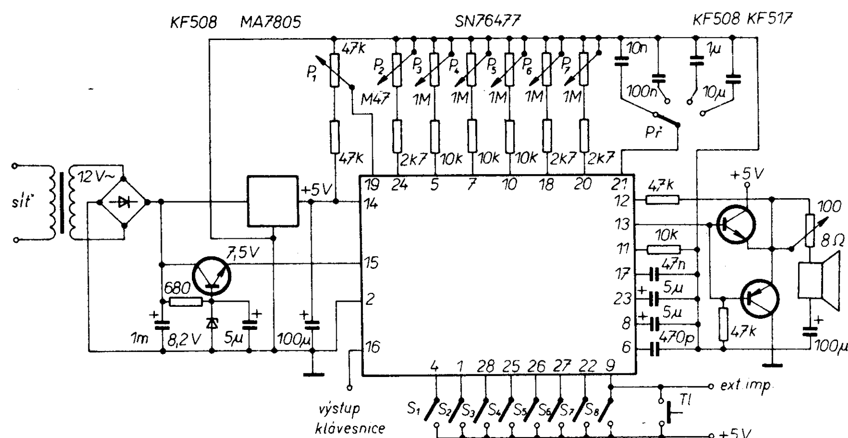
Ročenka Rádiótechnika 1986

Syntezátor zvuků

Firma Texas Instruments dala na trh před několika lety zajímavý integrovaný obvod SN76477, který nazvala komplexním generátorem zvuku. Obvod byl předchůdcem různých generátorů melodií a syntezátorů řečí a má-li někdo možnost jej získat, lze si s ním pěkně „pohrát". V pouzdru s 28 vývody je celá řada generátorů, oscilátorů, filtrů a pomocných obvodů, připojením několika rezistorů můžeme dosáhnout nejrůznějších zvukových efektů od ptačího hlasu počínaje a konče výbuchem bomby.



Obr. 104. Vnitřní zapojení SN76477; vývody: 1 – výběr obalu, 2 – zem, 3 – hodiny pro šum, externí, 4 – odpor pro šum, 5 – odpor k řízení filtru šumu, 6 – kapacita k řízení filtru šumu, 7 – odpor pro kontrolu útlumu, 8 – kapacita pro útlum, 9 – řízení impulsu, 10 – odpor pro řízení vybuzení, 11 – odpor pro řízení amplitudy, 12 – odpor pro zpětnou vazbu, 13 – nf výstup, 14 – U_{CC}, 15 – regulace napětí, 16 – řízení externího VCO, 17 – kapacita pro řízení VCO, 18 – odpor pro řízení VCO, 19 – řízení barvy zvuku, 20 – odpor pro řízení OVNK, 21 – kapacita pro řízení ONVK, 22 – řízení VCO, 23 – kapacita pro monostab. klopný obvod, 24 – odpor pro monostab. klopný obvod, 25 – řízení směšovače B, 26 – řízení směšovače A, 27 – řízení směšovače C, 28 – řízení obalu 2



Obr. 105. Syntezátor; P_1 – střída VCO, P_2 – perioda obalu, P_3 – šum. filtr, P_4 – útlum, P_5 – spouštění, P_6 – kmitočet VCO, P_7 – kmitočet filtru, S_1 – zapnutí šumu, S_2, S_3 – výběr obalu, S_4 až S_6 – směšovač, S_7 – VCO, S_8 – krátký impuls obalu, Př – kmitočet

Vnitřní zapojení obvodu je na obr. 104. Oscilátor signálu velmi nízkého kmitočtu může pracovat na kmitočtu od 0,1 Hz. Kmitočet VCO určuje člen *RC* na vývodech *18* a *18*. Signál oscilátoru může být modulován stejnosměrným nebo střídavým napětím přes oscilátor velmi nízkého kmitočtu (OVNK) nebo externě. Výstupní signál VCO má pravidelný tvar. Šumový generátor vyrábí pseudonáhodný signál, je řízen logikou a jeho výstup je připojen na šumový filtr. Logický obvod spouští generátor i generátor obalu. Délka impulsu je určena členem *RC* na vývodech *23*, *24*. Šumový filtr působí i zpoždění. Přerušovací kmitočet lze regulovat i členem *RC* (vývody *5* a *6*), směšovač *(25, 26, 27)* podle nastavení potenciometru *(24)* směšuje signály různých generátorů a výsledný signál je zesílen výstupním zesilovačem.

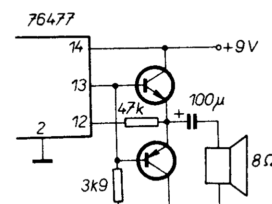
Na obr. 105 je syntezátor, který se skládá ze síťového napáječe, z integrovaného obvodu a zesilovače s možností regulace. Přepínačem, potenciometry P_2 až P_7 a spínači S_1 až S_8 je možné dosáhnout „nekonečného" množství různých zvukových efektů. Spínače můžeme upevnit jako klaviaturu, použít tahové potenciometry a máme k dispozici „orchestr", který se každý den neviděl.

Ale obvod umí ještě více a byla by škoda nevyužít těchto možností.

V tabulce je několik možností zvukových efektů: siréna, palba, parní lokomotiva, exploze, závodní vůz, pták, letadlo. Součástky podle tabulky je třeba připojit na uvedené vývody. Jsou-li čísla u součástek v kroužku, znamená to, že je je třeba připojit na stejně očíslované vývody IO.

Ve funkčním vzorku byla použita základní deska s obvodem, napájení (ploché baterie) a zesilovač podle obr. 106. Vývody IO byly vyvedeny na přímý konektor, do něhož zasazovaly zvláštní destičky pro každý zvukový efekt podle tabulky.

Elektor 3/1981, HP 1661, Antenna 4/81, 4/82



Obr. 106. Zesilovač

Vývody 76477	Siréna	Kulomet	Vlak	Exploze	Závodní vůz	Ptačí hlas	Letadlo
1		—(25)			—(25)		
2	⏊	⏊	⏊	⏊	⏊	⏊	⏊
3							
4		47k	39k	47k	47k	4M7, 1M	10k
5		82k	47k	M22	M33	M47	47k
6		1n	390p	1n	1n	1μ, M47 —(20)	1n
7		M68		M68	M1		
8		680n		2μ2	100μ		
9		—(1)					
10		3k3		3k3	47k		
11	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
12,13	výstupní zesilovač						
14	napájení + 9 V						
15	(19), (22)	(1), (9), (25)	68k —(16)		(25), M1, M1, (16)	(19)(20)(22), (28), (1)	—(27)—(28)
16			68k —(15), 27k				
17	100n		10n			2n2	
18	3k3		47k		1μ	M1	
19	—(15)		—(15), (28)		27k		
20	M25, 10k		1M, M1			1M, M1	M47, M1
21	10μ		470n			470n	47n
22	—(15)						
23		10n		1μ			
24		M33		M33			
25					50μ, —(1)		
26							
27			4k7 —(15)				
28			4k7 —(27), 68k —(16)				

Zařízení ke zpracování barevného fotografického papíru při denním světle

Exponovaný barevný papír ve tmě založíme do speciálního tanku – a vše ostatní již vykonáváme při plném světle.

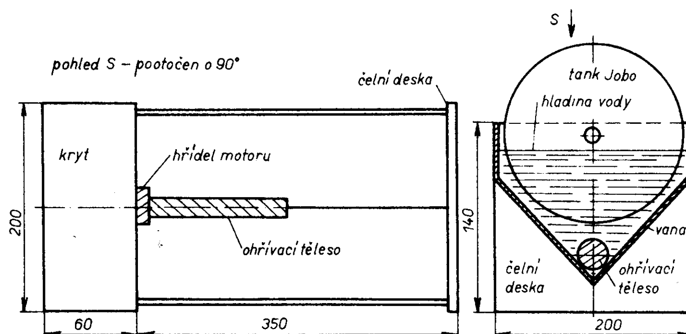
Avšak abychom začali od začátku: V zahraničních fotografických časopisech a na výstavách Interkamera lze vidět moderní zařízení, kterými lze celý vyvolávací proces barevného papíru v amatérských podmínkách – učeně řečeno – racionalizovat. Různé firmy vyrábějí zařízení, které se skládá ze speciálního tanku na vyvolání papírů všech formátů, do něhož se založí exponovaný papír, potom se naleje (podle velikosti tanku) asi 80 až 100 ml vývojky, tank se položí do vodorovné polohy a otáčí se po určitou dobu, potom bez otevření se z tanku vyleje vývojka, naleje se další lázeň, opět se tank položí a otáčí se a tak dále, nakonec obdobným způsobem se pere, tank se otevře a lze z něj vyjmout hotový obraz. Jednoduché, že... Ale vývojka musí mít stále přesnou teplotu, doba vyvolávání je přesně stanovena a nedodržení jednoho z těchto činitelů má za následek špatný obraz, to každý fotograf ví.

Protože jsem nechtěl vynalézat již vynalezené, zhotovil jsem zařízení podle výrobku známé firmy JOBO. Tank Jobodrum (kupř. 4530) se doma nedá udělat, podařilo se mi ho získat, a tak se stal základem celého vyvolávacího zařízení. Jedná se o válec z černé plastické hmoty o ∅ 140 mm a výšce 280 mm. Jeho uzávěr je řešen tak, že je možné nalévat i vylévat roztoky beze zbytků z uzavřeného tanku, uvnitř jsou výčnělky a zvláštní přidržovací přípravky pro upevňování papíru těsně u stěny tanku. Najednou v něm lze vyvolávat jeden list velikosti 24 × 30 cm, nebo dva listy 18 × 24 cm, nebo čtyři listy 13 × 18 cm. Papíry – jak již bylo řečeno – leží na stěnách tanku, takže malé množství vývojky – 80 ml – postačí na vyvolání jedné náplně. Tak malé množství vývojky bude vyčerpáno a ekonomicky využito a po vyvolání se vyleje, pro další vyvolávání použijeme čerstvou vývojku, odpadá starost o vyčerpanou vývojku. Pohyb tanku a temperování vývojky je řešeno Colorprocesorem, což je zařízení ve tvaru **jakési vany s vodou, jejíž teplota je udržována termostatem. Na vodu se položí tank,** který je připojen k hřídeli motoru a otáčí se. Tak je řešeno udržování stálé teploty vývojky v tanku a jeho pravidelný pohyb při vyvolávání i při ostatních úkonech vyvolávacího procesu. K zařízení patří i další vanička, předehřívací lázeň, v níž jsou lahve s vývojkou (a další lahve) v temperované vodní lázni, udržované na konstantní teplotě dalším termostatem. Z těchto lahví naléváme potřebné tekutiny do tanku.

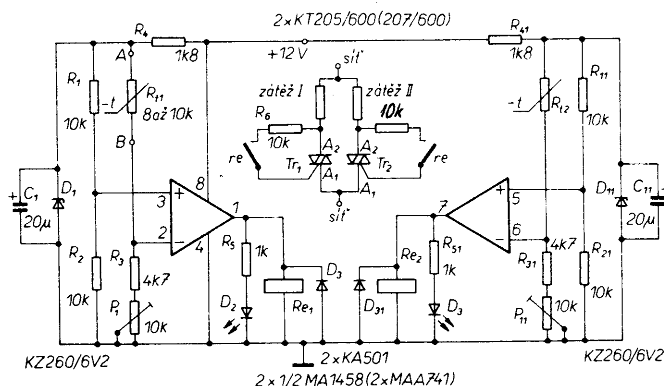
Domácí výroba tohoto zařízení není právě jednoduchá, hlavně jeho mechanika a poshánění potřebného materiálu. Při popisu nechci udávat přesné výkresy, každý si zařízení musí přizpůsobit svým podmínkám a možnostem, navíc na přesných rozměrech a tvarech ani nezáleží. Proto udávám jen hrubé rozměry a tvary, jichž je vhodné se přibližně držet.

Materiálem, ze kterého vytvarujeme vanu a předehřívací nádrž, je deska PVC tloušťky asi 2 mm. Kromě toho potřebujeme i desku PVC tloušťky 4 mm, ze které bude krabice pro kryt motoru a elektroniky a čela pro vany. Spojovat desky by bylo nejvýhodnější svářením, lze však použít i pistoli TAFIX, která se u nás prodává a v krajním případě lze vytvarované desky i slepovat speciálním lepidlem na PVC (L20).

Nejprve zhotovíme vanu pro otáčení tanku v temperované lázni podle obr. 107. Desku z PVC ohýbáme za tepla při místním ohřátí, potom přilepíme čelní desky, které budou zároveň i stojany nádrže. Jedna z bočních desek je zadní stěnou přístrojové krabice. Blízko spodního ohy-



Obr. 107. Vana s krytem



Obr. 108. Termostat pro vanu a předehřívání

bu vany umístíme topné těleso. Pro tento účel byl použit starší válcový ohřívač piva v kovovém krytu s topným tělesem uvnitř s příkonem asi 100 W. Hodí se také skleněné topné těleso pro akvária asi 80 až 100 W, čím delší, tím lepší, aby se voda ohřívala po celé délce vany. Pro ohřívadlo vyvrtáme čelní desku – zadní stranu krytu, prostrčíme topné těleso a pečlivě utěsníme kupř. Cenusilem nebo jiným vhodným tmelem (silikonovým). Na druhém konci těleso podložíme tak, aby svou vahou nekleslo, aby leželo vodorovně. Vývody topného tělesa řádně izolované jsou v prostoru pro elektroniku.

Nyní nalejeme vodu do vany, přezkoušíme těsnění a svary a na vodu položíme poněkud zatížený tank tak, aby plaval. Naproti jeho středu na přístrojové straně umístíme hřídel motoru, který bude otáčet tankem. Rychlost otáčení je asi 1 až 2krát za sekundu. Pro tento účel se hodí synchronní motorek SMZ375 s převodem do pomala. Tyto motorky, které se používají v gramofonech bez převodu, nebo v různých síťových hodinách a časových spínačích s převody, se otáčí 375krát za minutu, použijeme proto redukci s převodem (asi 6 až 10krát). Motorek s převodem upevníme na boční stěnu, na jeho osu přišroubujeme tlustší tyč z plastické hmoty s výčnělky, a protějšek, do kterého volně zapadnou výčnělky, zasuneme do prohloubeniny na dně tanku, takže pouhým položením tanku poněkud šikmo na hladinu vody jej spojíme s pohonem. Víko tanku bude ve vodorovné poloze tak blízko k čelu vany, že se bez jeho pozvednutí nemůže sesmeknout z hřídele. Tank má ležet vodorovně, toho dosáhneme zvýšením nebo snížením hladiny vody. Množství vody změříme, a vždy stejné množství pak do vany naléváme.

K otáčení tanku postačí velmi malá síla, protože nikde nejsou žádné třecí plochy kromě vody. Otáčením tanku se voda stále míchá a její teplota bude v celém objemu stejnosměrná. Někde na kraji desky, kde je připevněn motor, umístíme držák termistoru, aby nepřekážel.

Na obr. 108 je termostat pro vanu a pro předehřívací lázeň. Na jedné desce s plošnými spoji jsou dva identické a na sobě nezávislé systémy regulace se společným napájením. Stabilizovaný zdroj (12 V) s malým odběrem ani nepopisuji, byl již otištěn mnohokrát, odběr proudu závisí jen na druhu relé a na LED, a nepřekročení ani v nejhorším případě 100 mA.

Termostat je jednoduchý, celkem obvyklého zapojení. Napájecí napětí diodou D_1 stabilizujeme a přivádíme na dělič R_1, R_2, který slouží pro OZ jako zdroj referenčního napětí. Tepelné změny termistoru R_t přivádíme na invertující vstup OZ, který při poklesu nastavené teploty sepne jazýčkové relé, jeho kontakty otevírají triak a ten připojí topení. Po dosažení nastavené teploty poměry na vstupu OZ se vrátí do původního stavu, kontakty relé odpadnou, triak se uzavře a odpojí topné těleso. Spínání triaku relé bylo zvoleno proto, aby zařízení nebylo galvanicky spojeno se síťovým napětím. Termistor bude nejvhodnější perličkový ve skleněné trubičce, má mít odpor kolem 10 kΩ, vyhoví i s jiným odporem, příp. změníme R_3 a P_1. Druhý stejný systém slouží k udržování teploty vody v předehřívací lázni, v níž topení obstarává (asi 3 l vody) malý ponorný vařič z NDR.

Pro vizuální kontrolu topení slouží svíticí diody, podle jejich svitu nastavíme žádoucí teplotu (má být o něco vyšší, než je vyvolávací teplota). Termistor umístíme pevně do vody, kterou jsme přesným teploměrem nastavili na žádoucí teplotu. Otáčením P_1 zhasneme LED, pak vodu o několik desetin stupňů ochladíme, LED má opět svítit. Tento pochod opakujeme několikrát.

Předehřívací nádrž je zhotovena také z desky PVC ohnutím a připevněním čel (z tlustší desky). Délka je 300, šířka 150 a hloubka 130 mm, na přesných rozměrech ani zde nezáleží, navrhneme ji podle velikosti a počtu lahví na vývojku, bělicí ustalovač a příp. další, které používáme. Někde uprostřed, aby nevadil lahvím, připevníme potřebný držák, k němuž přišroubujeme malý ponorný vařič z NDR, který napájíme druhým systémem termostatu. Nastavení je stejné, jak již bylo popsáno, systém má samostatnou svíticí diodu (D_3). Jeví-li se potřeba, můžeme do vody umístit malý motorek s vrtulí pro míchání vody.

Když máme vše hotové, vyzkoušené, promyšlené (nezapomeňte kovové části ohřívacích těles uzemnit!), můžeme pracovat.

Postup práce: Několik hodin (nejlépe po celou noc) před započetím práce nalijeme do vany bez tanku přesně odměřené množství vody, aby tank připojený na hřídel motoru plaval vodorovně. Toto množství jsme již dříve při nastavování určili. Dvě lahve – nejlépe lékárnické, nebo podle potřeby, to už jsme také vyzkoušeli – s barevnou vývojkou a bělicím ustalovačem (podle návodu výrobce papíru) umístíme do předehřívací nádrže, do které také nalijeme přesně odměřené množství vody, připevníme ponorný vařič, který jsme připojili k termostatu. Upevníme na vhodné místo i termistorové čidlo. Nyní procesor zapneme do sítě, topná tělesa ohřívají vodu, kontrolky svítí. Po dosažení předepsané teploty tělesa přestanou topit, pak po čase, když voda chladne, znovu sepnou. Tak během delší doby budou teplotně stabilizovány i nádrže.

Vzhled celého zařízení je vidět na fotografiích (obr. 109, 110, 111).

Obr. 19. Vyvolávací zařízení bez tanku (viz 4 str. obálky)

Obr. 110. Vyvolávací zařízení a předehřívaná nádrž (viz 4. str. obálky)

Obr. 111. Elektronika termostatů a pohybový mechanismus (viz 4. str. obálky)

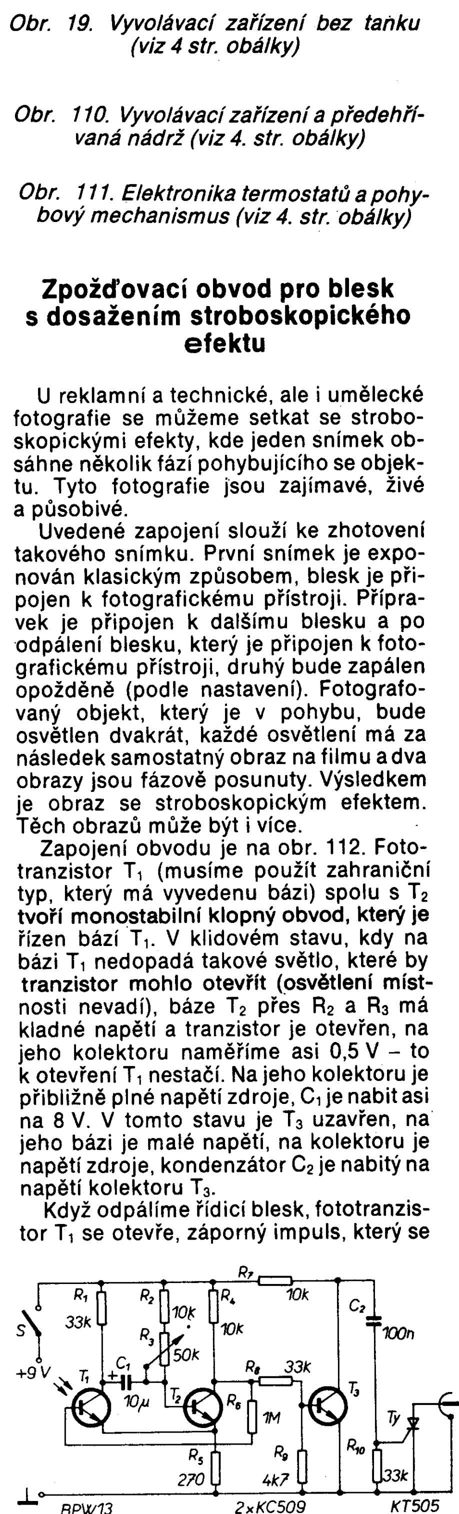
Zpožďovací obvod pro blesk s dosažením stroboskopického efektu

U reklamní a technické, ale i umělecké fotografie se můžeme setkat se stroboskopickými efekty, kde jeden snímek obsáhne několik fází pohybujícího se objektu. Tyto fotografie jsou zajímavé, živé a působivé.

Uvedené zapojení slouží ke zhotovení takového snímku. První snímek je exponován klasickým způsobem, blesk je připojen k fotografickému přístroji. Přípravek je připojen k dalšímu blesku a po odpálení blesku, který je připojen k fotografickému přístroji, druhý bude zapálen opožděně (podle nastavení). Fotografovaný objekt, který je v pohybu, bude osvětlen dvakrát, každé osvětlení má za následek samostatný obraz na filmu a dva obrazy jsou fázově posunuty. Výsledkem je obraz se stroboskopickým efektem. Těch obrazů může být i více.

Zapojení obvodu je na obr. 112. Fototranzistor T_1 (musíme použít zahraniční typ, který má vyvedenu bázi) spolu s T_2 tvoří monostabilní klopný obvod, který je řízen bází T_1. V klidovém stavu, kdy na bázi T_1 nedopadá takové světlo, které by tranzistor mohlo otevřít (osvětlení místnosti nevadí), báze T_2 přes R_2 a R_3 má kladné napětí a tranzistor je otevřen, na jeho kolektoru naměříme asi 0,5 V – to k otevření T_1 nestačí. Na jeho kolektoru je přibližně plné napětí zdroje, C_1 je nabit asi na 8 V. V tomto stavu je T_3 uzavřen, na jeho bázi je malé napětí, na kolektoru je napětí zdroje, kondenzátor C_2 je nabitý na napětí kolektoru T_3.

Když odpálíme řídicí blesk, fototranzistor T_1 se otevře, záporný impuls, který se



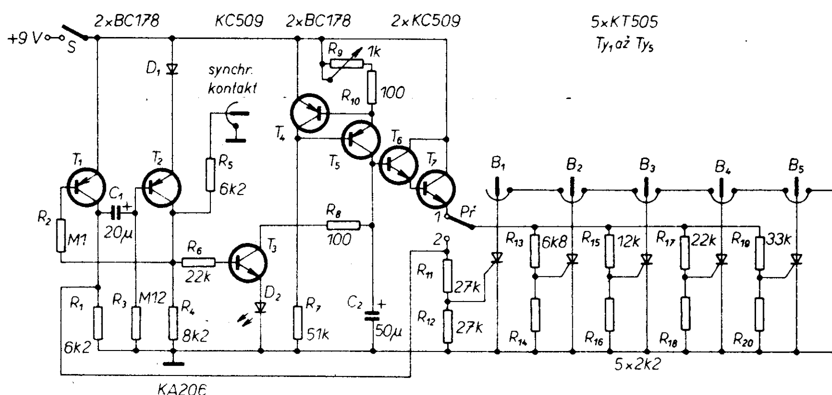
Obr. 112. Zpožďovací obvod pro stroboskopický jev

objeví na kolektoru, uzavře T_2, napětí na jeho kolektoru skokem dosáhne velikosti napájecího napětí. Vlivem zpětné vazby přes R_6 tranzistor T_1 zůstává otevřen, dokud je na kolektoru T_2 větší napětí. V této době je T_3 otevřen a přes R_{10} a T_3 se vybije náboj kondenzátoru C_2. Tyristor zůstává v uzavřeném stavu, protože na jeho řídicí elektrodě je záporné napětí. Tento stav trvá tak dlouho, dokud se napětí C_2 nezmenší natolik, že na T_2 začíná působit kladné napětí, kdy se tranzistor skokem otevře, na jeho kolektoru se zmenší napětí, uzavřou se T_1 a T_3. Uzavřený tranzistor T_3 již „nezatěžuje" C_2, který je nabíjen přes R_7. Nabíjecí proud C_2 vyvolá na R_{10} kladný impuls, tyristor se otevře a odpálí druhý blesk.

Popsaný obvod může působit zpoždění od 100 ms do 1 s (nastavuje se potenciometrem R_3). Dlouhou zpožďovací dobu můžeme použít jen ve tmě při nastavení závěrky fotoaparátu na B. K pomalým pohybům potřebujeme zpoždění asi 100 ms. K fotografování rychlých pohybů potřebujeme kratší dobu zpoždění.

Snímek můžeme řídit i synchronním kontaktem fotografického přístroje, ale musíme vzít v úvahu několik skutečností: doba hoření blesku (podle typu) je asi 1 ms. Doba otevření závěrky (podle druhu) je kupř. 1/100 s = 10 ms, tedy největší zpoždění může být 9 ms, proto C_1 bude třeba zmenšit na 50 až 100 nF.

S uvedeným zapojením můžeme fotografovat jen dva pohyby. Na obr. 113 je jiné zařízení, ke kterému můžeme připojit pět blesků, které budou odpáleny postupně (nebo současně), tedy fotografujeme pět fází jednoho pohybu. V tomto zapojení postupné odpálení blesků neřídíme světlem hlavního blesku, ale synchronním kontaktem fotografického přístroje a tak ušetříme i fototranzistory.



Obr. 113. Jiné zapojení zpožďovacího obvodu

Tranzistory T_1 a T_2 tvoří klopný obvod. Po zapnutí napájecího napětí bude T_1 uzavřen, T_2 se otevře. Kondenzátor C_1 se nabije na 9–1,4 = 7,6 V. Kolektorový proud otevřeného tranzistoru T_2 vytvoří na R_4 spád napětí, který drží T_3 v otevřeném stavu a udržuje na úrovni asi 1 V společný bod rezistorů R_2, R_4, R_6. Otevřený tranzistor T_3 a R_8 zkratují kondenzátor C_2. Generátor konstantního proudu T_4, T_5 je napájen z C_2, na kterém je napětí asi 2 V, a to nepostačuje k tomu, aby tyristory mohly být otevřeny, je-li přepínač Př v poloze 1.

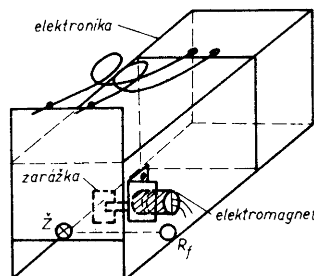
Obvod spustíme synchronním kontaktem aparátu. Krátkým spojením přes R_5 spojíme kolektor T_2 se zemí, při zmenšení kolektorového napětí se objeví záporný impuls, který obvod T_1, T_2 překlopí, T_1 se otevře, T_2 se uzavře. Tento stav udržuje náboj kondenzátoru C_1, který se vybíjí přes T_1 a R_3. V tomto okamžiku se objeví kladný impuls na R_1, který otevře tyristor Ty_1 a odpálí se první blesk. Tranzistor T_3 se uzavře, generátor proudu nabíjí C_2. Zvětšující se napětí se přes T_6, T_7 připojí na děliče v zapalovacích elektrodách tyristorů. Děliče jsou sestaveny tak, že se nejprve objeví potřebné napětí na řídicí elektrodě B_2 (blesk) a postupně i na ostatních blescích. Lineárně se zvětšující napětí na C_2 řídíme potenciometrem R_9. Při nejmenším odporu R_9 budou intervaly mezi záblesky asi 50 až 100 ms, při maximálním odporu 2 až 3 s. Kdyby poslední blesky nebyly zapáleny, pak bude třeba zvětšit kapacitu C_1 až na 50 µF. Přepínač v poloze 2 působí, že všechny připojené blesky budou odpáleny najednou (získáme blesk s velkým směrným číslem).

Je možné, že bude třeba změnit R_2 a R_3 tak, abychom v klidovém stavu naměřili na R_1 napětí 1 V, a R_3 tak, aby na R_4 bylo 7,5 V. LED může být libovolný, tyristory citlivé a pokud možno stejných parametrů.

Radiótechnika 11–12/1982



Obr. 115. Elektronika pasti



Obr. 114. Mechanické uspořádání pasti (schematicky); EM – elektromagnet, Z – zarážka

Ochrana proti potkanům a myším

Proti hlodavcům se vede boj na všech kontinentech s nevalným úspěchem, o tom svědčí i následující náměty. Jeden pochází z Německa, jeden z Jižní Ameriky a jeden z Austrálie. Zájemce si může vybrat: chytnout škůdce a naložit s ním podle vlastního uvážení, zaplašit ho, nebo ho popravit na elektrickém „křesle“. Každý podle svého gusta. Ve všech případech však použijeme elektroniku – přece žijeme v době vyspělé techniky a obyčejná past na myši je přežitkem – a mnohdy ani se nedá sehnat.

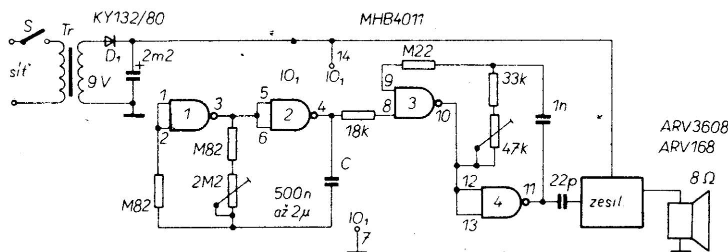
a) Nejprve mechanická konstrukce pasti. Zhotovíme vhodnou skříňku z překližky tloušťky 3 až 5 mm, nebo z jiného pevného materiálu. V zadní části skříňky, která bude oddělena od prostoru „vězení“, bude elektronika se síťovým transformátorem. Přední, uzavírací strana – nejlépe z organického skla – je vytahovací a pohybuje se v drážkách. Je stále tlačena dolů pružinou, aby uzavírala vstup do krabice. Při jejím vytažení asi do poloviny kotva elektromagnetu zapadne do její zarážky a drží ji v otevřeném stavu. Vejde-li myš do skříňky pro návnadu, přeruší světelný paprsek (světelnou závoru). Světlo žárovky v klidové poloze dopadá na fotorezistor (oba jsou v trubičce), obvod podle obr. 115 je aktivován, elektromagnet přitáhne, uvolní zarážku, tlakem pružiny se dveře uzavřou. Myš zůstane ve skříňce.

Osvětlený fotorezistor zapojený do klopného obvodu ze dvou hradel obvod drží v klidovém stavu. Při přerušení světla se odpor fotorezistoru zvětší, obvod se překlopí, jeho výstup dává povel monostabilnímu obvodu ke změně stavu. Tranzistory T_1 a T_2 (lze je nahradit jediným tranzistorem v Darlingtonově zapojení) se otevřou, elektromagnet přitáhne a dveře se uzavřou. Potom již světelná závora nebude reagovat na osvětlení nebo zatemnění. Po stisknutí tlačítka Tl obvod znovu uvedeme do pohotovostního stavu.

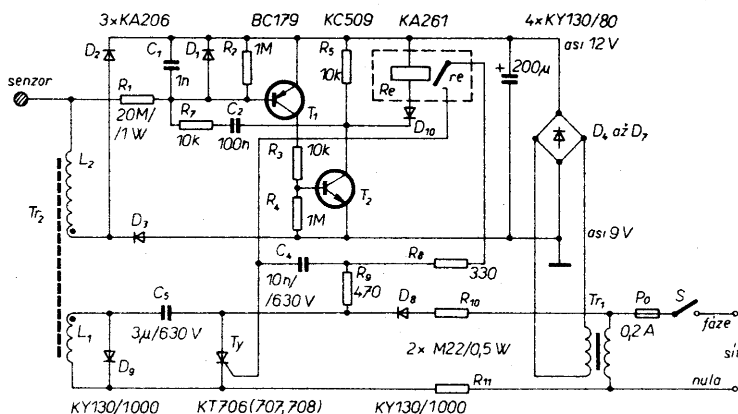
Jako elektromagnet můžeme použít nějaké vyřazené robustnější relé; napájecí transformátor i tranzistory volíme podle proudu elektromagnetu a žárovky.

Elektor 7–8/1984

b) Druhá varianta plaší hlodavce ultrazvukem o kmitočtu kolem 20 kHz, které lidské ucho již nevnímá. Zvířata ultrazvuk slyší, špatně ho snášejí a snaží se uniknout z prostoru, kde se tyto signály těchto



Obr. 116. Ultrazvukový odpuzovač hlodavců



Obr. 117. Třetí verze elektronické pasti

kmitočtů vyskytují. Platí to především o hlodavcích.

Na obr. 116 je celé zařízení, které pracuje takto: Hradla 3 a 4 jsou zapojena jako multivibrátor, jeho kmitočet je nastaven asi na 20 kHz, signál má pravoúhlý tvar. Hradla 1 a 2 spínají multivibrátor, takže podle nastavení a kapacity kondenzátoru C pracuje (nepracuje) multivibrátor vždy asi 1 až 3 sekundy. Ultrazvuk je přerušovaný a tím účinnější.

Multivibrátor však dává slabý signál, proto je jej třeba zesílit podle velikosti střeženého prostoru. Výkonový zesilovač Z na obrázku je proto značen jen blokově. Je možné použít monolitické zesilovače MDA2010 nebo A2030, příp. postačí i obyčejný tranzistorový spínací výkonový stupeň. Důležité je, aby zesilovač přenášel dobře signály vysokých kmitočtů. Další nutností je použít vysokotónový reproduktor ARV3608, příp. jiný zahraniční typ.

Napájecí transformátor zvolíme podle výkonového stupně, popř. podle požadovaného koncového výkonu.

Electrónica Popular 8/1980

c) U třetího způsobu boje proti hlodavcům se již nejedná o „humánní" metody, ale o hubení na jakémsi „elektrickém křesle". Zvíře, které půjde za vnadidlem, se jej nemusí ani dotknout, svým tělem uvede v činnost obvod, který dává milisekundový impuls vysokého napětí, které ho usmrtí nebo omráčí.

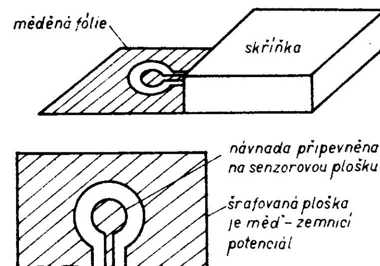
Jedná se o impulsní generátor vysokého napětí, který je uveden v činnost senzorovým ovládáním. Generátor dává jen jeden impuls. I když je generátor napájen ze sítě, obvody jsou vf transformátorem galvanicky odděleny od sítě, ale přesto je třeba dbát všech bezpečnostních zásad.

Přístroj se skládá ze tří částí: senzorové, spínacího obvodu a vysokonapěťového generátoru.

Senzorová část obsahuje tranzistory T_1 a T_2. Vstupem k uvedení do činnosti je ploška na desce s plošnými spoji (obr. 117), na kterou je připojen konec sekundárního vinutí vysokonapěťového transformátoru, přes R_1 je signál přiveden do báze T_1. Druhý konec sekundárního vinutí Tr_2 je připojen na D_1 a D_2. Katoda D_2 je připojena na kladné napájecí napětí, anoda D_3 je na zemním potenciálu, přes R_1 proud neteče. T_1 je díky R_2 uzavřen, T_2 rovněž. Když myš vstoupí na senzorovou plošku, přivádí na ni zemní potenciál a přes R_1 protéká proud asi 0,5 μA. Otevírají se T_1 i T_2. Kladná zpětná vazba (R_7 a C_2) způsobí rychlé otevření obou tranzistorů, proud protéká vinutím jazýčkového relé Re, které sepne. Asi po jedné milisekundě se C_2 vybije a oba tranzistory se uzavřou. Krátké sepnutí jazýčkového kontaktu uvede tyristor do vodivého stavu, přes něj se vybije náboj kondenzátoru C_5 do primárního vinutí vysokonapěťového transformátoru Tr_2. Celý pochod trvá 1 ms, vybíjený proud C_5 je však značný, asi 100 A při 300 V. Na sekundárním vinutí při poměru vinutí 1:20 se indukuje napětí asi 6 kV.

Velmi důležitá je konstrukce vn transformátoru. Jádrem jsou dvě feritové tyče (anténní) o ∅ 9 až 10 mm (délky 18 až 20 cm), tyč může být i čtvercovitého průřezu. Tyče pevně spojíme vedle sebe lepicí páskou. Primární vinutí tvoří čtyři dráty paralelně a vinuté najednou (o ∅ 1 mm, 20 závitů). Na obou koncích dráty spájíme. Pak navineme několik vrstev izolace a sekundární vinutí (400 závitů drátu o ∅ 0,16 mm). Dbáme, aby vývody primárního a sekundárního vinutí byly vzájemně dostatečně vzdáleny. Velmi důležité je zapojení začátku a konce vinutí, ve schématu jsou značeny začátky vinutí tečkou.

Vše je umístěno na jedné desce s plošnými spoji, součástky jsou pájeny ze strany spojů, senzor je též z měděné fólie na kuprextitové desce (obr. 118). Na část desky jsou připájeny všechny součástky, tuto část přikryjeme nějakým víkem. Z krabice vybíhá jakýsi jazyk obklopený fólií, na níž je připojena zem. Jazyk je oddělen od plochy země vyleptaným pásem šířky asi 10 mm. Na rozšířeném konci jazyku je připevněna návnada. Transformátor Tr_1 může být třeba i zvonkový, má dávat asi 9 V, dbáme o správné zapojení



Obr. 118. Mechanické uspořádání pasti

síťového napětí, jak je naznačeno. Dbáme o bezpečnost, aby se děti, ale ani kočka nedostaly k pasti.

ETI 8/1984

Teploměr pro milovníky vína

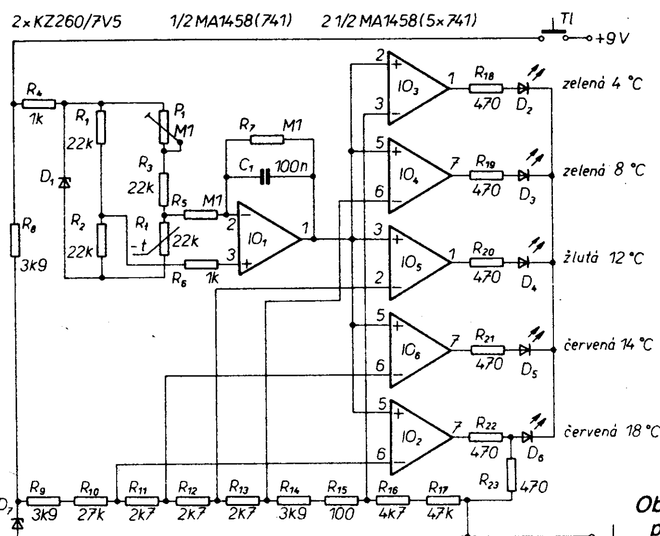
Odborníci a milovníci vína vědí, že každé víno má mít určitou teplotu. Podle nevím jakých předpisů správná teplota má být:

1. Šumivá vína, především suchá .. +4 °C.
2. Značková vína bílá .... 8 °C.
3. Bílá vína střední jakosti .... 12 °C.
4. Růžová vína .... 14 °C.
5. Červená vína .... 18 °C.

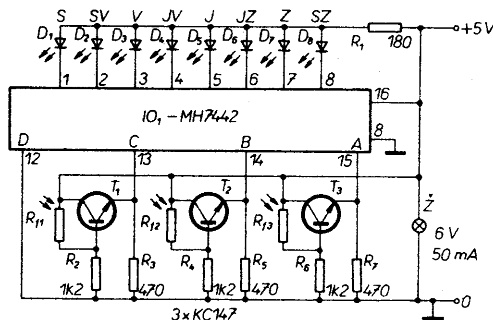
Aby milovníci elektroniky – i vína – mohli pít svůj nápoj podle mezinárodních norem, mohou si sestrojit speciální teploměr, který svitem různobarevných svítivých diod indikuje, zda ten nebo onen druh vína má správnou teplotu, není-li třeba je ještě vychladit, nebo trochu ohřát. Doba měření závisí na druhu použitého termistoru, u perličkového to bude několik sekund, u hmotového do jedné minuty.

Na obr. 119 je zapojení teploměru. Termistor je umístěn v můstku, který se skládá z rezistorů R_1, R_2, P_1, R_3. Můstek se nastaví odporovým trimrem P_1. Malé změny při rozvažování můstku změnou odporu termistoru zesilujeme operačním zesilovačem IO_1. U ostatních pěti operačních zesilovačů vedeme zesílený signál na neinvertující vstupy, invertující vstupy jsou připojeny na referenční napětí z děliče R_9 až R_{17} tak, aby to odpovídalo stanoveným teplotám. Kupř. při 12 °C budou svítit tři diody: D_2, D_3 a D_4. Při cejchování postačí nastavit P_1 při teplotě 4 °C. Bude-li dělič sestaven z rezistorů s tolerancí 5 %, měření bude pro tento účel dostatečně přesné.

Operační zesilovače můžeme použít dvojité – MA1458 – příp. i jednotlivé, nejvýhodnější by byl čtyřnásobný (LM324). Protože měření – tedy odběr proudu svítivými diodami – trvá velmi



Obr. 119. Teploměr pro milovníky vína



Obr. 121. Elektronika k indikátoru větru směru

krátkou dobu, k napájení postačí destičková devítivoltová baterie.
Revista Espanola, leden 1984

Indikátor směru větru

Indikátor, který může sloužit k nejrůznějším účelům (i k indikaci nastavení otočné antény), pracuje s bezkontaktním spínáním svítivých diod, z nichž ta, která svítí, ukazuje jeden z osmi možných směrů, kam je směrový stabilizátor nasměrovaný.

Zapojení pracuje v kódu BCD neobvyklým způsobem. Kotouč podle obr. 120, který může být libovolného průměru, má tři soustředné kruhy, v nichž jsou přesně umístěné výřezy, představující kód BCD. Na desce přesně a těsně pod těmito

Obr. 120. Indikátor směru větru – mechanické díly a uspořádání

výřezy jsou upevněny tři libovolné fotorezistory. Nad kotoučem je žárovka, její světlo dopadá přes otvory na fotorezistory (jinak na ně světlo dopadnout nesmí), příslušný tranzistor nebo tranzistory (obr. 121) se otevřou a na vstupy BCD obvodu 7442 se přivádí kombinace log. 0 a log. 1.

Vstupy IO A	B	C	D	Směr	Svítí LED
0	0	0	0	sever	D1
1	0	0	0	severovýchod	D2
0	1	0	0	východ	D3
1	1	0	0	jihovýchod	D4
0	0	1	0	jih	D5
1	0	1	0	jihozápad	D6
0	1	1	0	západ	D7
1	1	1	0	severozápad	D8

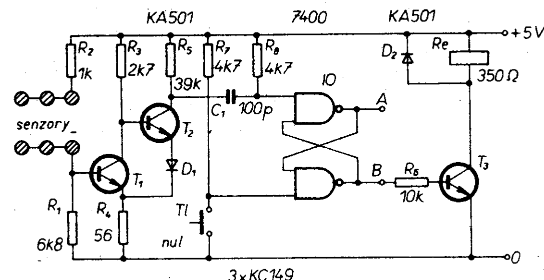
Elektor 7–8/1979

Detektor vlhkosti (světla, teploty)

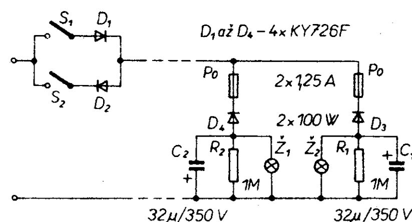
Proniknutí sebemenší vlhkosti do nějakého zařízení může způsobit někdy velké nepříjemnosti (proniknutí vody do pouzdra při fotografování pod vodou, nebo do blesku, do elektronického zařízení, do skrytých prostorů lodě apod.). Rovněž je možné chránit skryté místo proti proniknutí světla nebo i proti změně teploty použitím příslušných čidel. Při nežádoucím stavu zařízení sepne nebo rozpojí kontakty relé, které dává příslušný varovný signál nebo vykoná jiný zabezpečovací úkon. Senzorů lze paralelně zapojit několik a tak hlídat zabezpečovaný objekt na několika místech.

Jako senzor (obr. 122) proti vlhkosti postačí dva – nejlépe nerezové – dráty v těsné blízkosti, kousek kuprextitu s dělicími čarami apod. Musí být uspořádán tak, any sebemenší vlhkost způsobila změnu odporu mezi elektrodami. Při zmenšení odporu se překlopí T_1 a T_2, zapojené jako Schmittův klopný obvod, přes C_1 se překlopí i obě hradla a tranzistor T_3 sepne relé. Rezistor R_6 je možné připojit k bodu A nebo B podle toho, jakého pohotovostního stavu chceme pomocí relé dosáhnout. Stisknutím tlačítka Tl přístroj znovu uvedeme do výchozího stavu.

Použijeme-li obvod 7400, pak potřebujeme napájení 5 V, i relé má pracovat při tomto napětí. Jestliže místo 7400 použijeme obvod 4011, napájecí napětí můžeme volit v mezích 3 až 15 V, odběr bude řádu jednotek mikroampér a také relé můžeme použít na napětí v uvedeném rozmezí.
Elektor 7–8/1979



Obr. 122. Detektor vlhkosti (světla, teploty)



Obr. 123. Ovládání dvou spotřebičů po jednom vedení

Ovládání dvou spotřebičů jedním vedením

Máme-li v domovní instalaci dvojitý spínač, ale jen jedno vedení, a chceme-li ovládat kupř. svítidla nezávisle, použijeme zapojení podle obr. 123.

Každé svítidlo bude mít svůj spínač, S_1 pro $Ž_1$, S_2 pro $Ž_2$. Pro vyhlazení síťového napětí při jednocestném usměrnění potřebujeme kondenzátor určité kapacity, aby žárovky svítily normálně. Při různých žárovkách bude třeba použít i rozdílné kapacity kondenzátorů. Kapacitu kondenzátorů lze určit ze vztahu

$$C_x = 32\sqrt{\frac{P_x}{100}},$$

kde C_x je kapacita paralelního kondenzátoru v μF, P_x je příkon žárovky ve W.
Elektor 7–8/1979

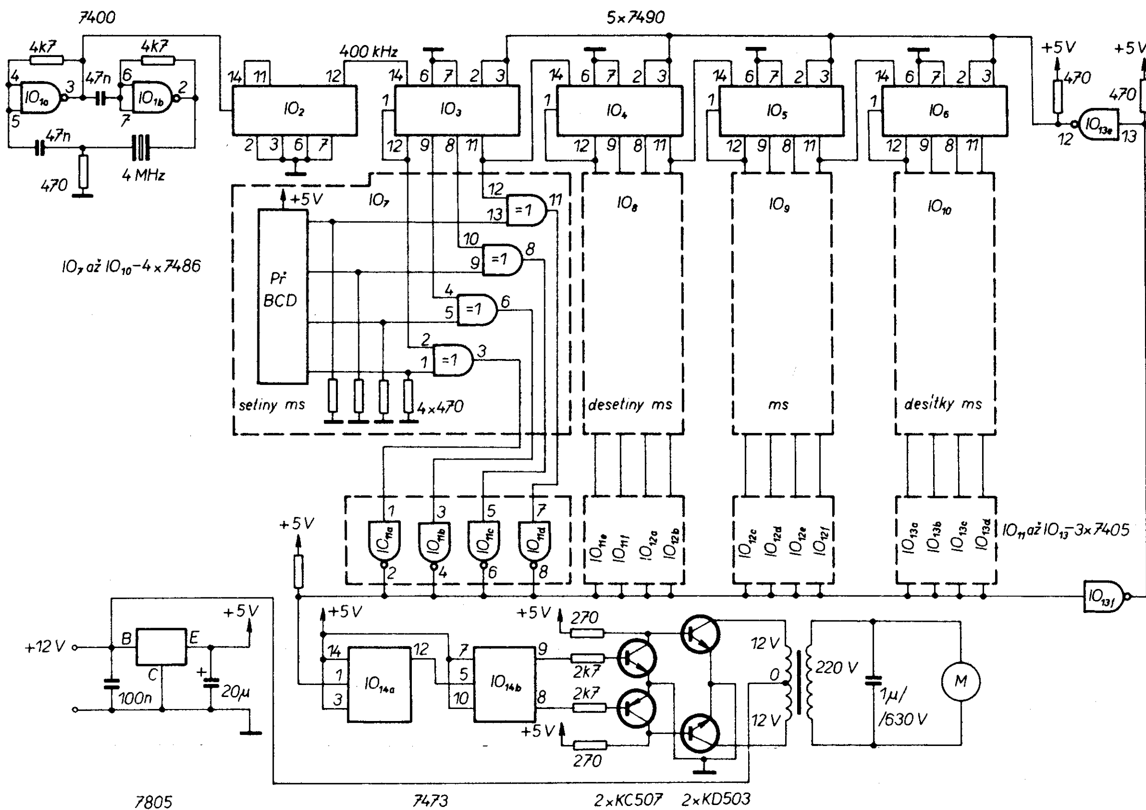
Číslicové řízení synchronních motorků

Řídit rychlost malých střídavých motorků napájených ze sítě je prakticky nemožné. Synchronní i synchronizované motorky můžeme regulovat pouze přepínáním pólů, které většinou nejsou vyvedeny, nebo změnou kmitočtu napájecího napětí, což při napájení ze sítě není možné. Regulace změnou napětí není možná, protože motorky vypadnou ze synchronismu. Změnou napětí lze v malém rozsahu regulovat pouze asynchronní motorky, ale je to nevýhodné, protože motor rychle ztrácí „moment" (je úměrný čtverci proudu).

Uvedené zapojení řídí motorky změnou kmitočtu, lze jej napájet ze síťového stejnosměrného zdroje 12 V nebo z baterie 12 V. Zapojení je schopno měnit periodu od 0,01 ms do 99,99 ms (10 Hz až 100 kHz). Údaj nastavený na palcovém přepínači je v milisekundách. Samozřejmě v tomto rozsahu nelze žádný běžný motorek regulovat. Běžný rozsah řízení rychlosti síťových motorků je asi od 30 Hz do 80 Hz, letecké motorky pracují s kmitočtem 400 Hz. Potřebné rychlosti otáčení vypočteme ze vzorce $n = \frac{60f}{p}$ (p – počet pólových párů, f – kmitočet). Ze vzorce vyplývá, že při změně délky periody napájecího napětí 20 ms (50 Hz) o 0,01 ms se rychlost otáčení dvoupólového motorku změní o 1,5 ot/min.

Konkrétní zapojení je na obr. 124. Jeho hlavní části jsou oscilátor, programovatelný dělič 1 až 999, klopný obvod, koncový stupeň, výstupní transformátor a zdroj.

Oscilátor je řízen krystalem 4 MHz a za ním následuje dělička IO_2, MH7490, která dělí kmitočet na 400 kHz, což je vstupní kmitočet pro programovatelný dělič. Ten



Obr. 124. Číslicové řízení motorků

se skládá ze čtyř stejných částí, jejichž výstupy jsou vyvedeny na společnou sběrnici, z níž bereme jednak signál řídicího kmitočtu, jednak nulovací impulsy pro čítače.

Jedna část děliče se skládá z čítače BCD, MH7490, jehož výstupy jsou vyvedeny na jeden ze vstupů dvouvstupových hradel EXCLUSIVE-OR (7486PC). Do druhého vstupu je zaveden výstup palcového přepínače BCD. Výstupy hradel EX-OR jsou přes invertory s otevřeným kolektorem (MH7405) zavedeny na společnou sběrnici. Pokud se všechna čísla na přepínači a na výstupech čítače rovnají, změní se stav sběrnice na log. 1, čítače se vynulují na dobu 2,5 µs. Po tuto dobu také trvá úroveň log. 1 na sběrnici. Když se alespoň jedno číslo na přepínači nerovná odpovídající úrovni na výstupu čítače, je na sběrnici stále log. 0 a čítače jsou uvolněny. Z toho vyplývá, že na palcovém přepínači je nastavena doba mezi dvěma impulsy 2,5 µs. Výstup ze sběrnice je zaveden do dvou za sebou zapojených klopných obvodů (UCY7473). Z nich získáváme signál se střídou 1:1 vydělený čtyřmi. Výstupy Q a $\overline{Q}$ klopného obvodu napájíme koncový zesilovač. Zátěž koncového zesilovače tvoří vinutí transformátoru. Sekundárním vinutím je síťové vinutí, které napájí motor. Kondenzátor 1 µF „ořezává" pravoúhlé impulsy a tím zmenšuje možnost rušení a bručení motoru.

Pokud nechceme řídit rychlost otáčení, ale pouze chceme získat zdroj přesného kmitočtu pro hodiny se synchronním motorkem, zavedeme signál o kmitočtu 200 Hz, získaný dělením kmitočtu signálu z krystalového oscilátoru, na vstup klopných obvodů. Programovatelný dělič vynecháme.

Practical Electronics 5/77

Nechrápej

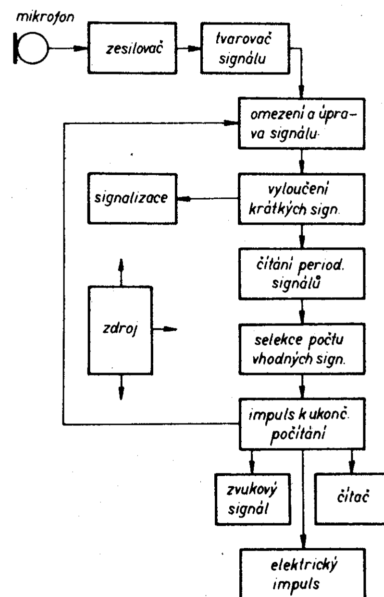
Nechci citovat různé lékařské kapacity o podstatě chrápání, jisté je jen jedno: proti chrápání zatím není pomoci. A mnohý z nás z vlastních zkušeností ví, jak může chrápání otrávit život – tedy vlastně spánek – spolunocležníkovi i samotnému „chrápači", a někdy i celému okolí.

Možná, že elektronika pomůže i v tomto oboru. V tisku proběhla zpráva, že v Japonsku vyzkoušeli přístroj velikosti náramkových hodin, který při chrápání uštědřuje nositeli elektrické impulsy a tím ho – alespoň dočasně – přinutí, aby přestal. Je docela možné, že určitý zvukový signál (nebo elektrický impuls) může vypěstovat podmíněný reflex (viz mnohokrát vzpomínaní psi Pavlova), který způsobí, že chrápání – alespoň na čas – přestane.

O něco podobného se jedná v tomto popisu – přístroj se však bohužel nevejde do pouzdra náramkových hodin, je poněkud větší. Zaregistruje chrápání a dává zvukový i elektrický signál podle výběru, čímž nahradí i příslovečné „ccc" nebo pískání nešťastného spolunocležníka. Je možné, že se časem vypěstuje i podmíněný reflex – kdo ví?

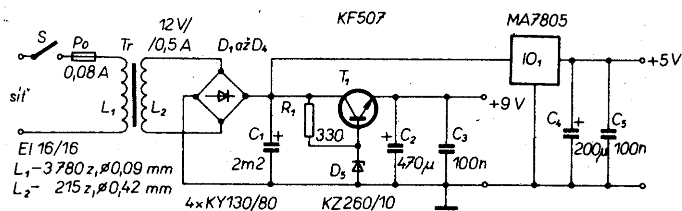
Popis zapojení

Na obr. 125 je blokové schéma zařízení. Mikrofon přijímá zvuky, které jsou zesíleny a tvarovány. Logika vyloučí krátké cizí



Obr. 125. Blokové schéma

zvuky a registruje jen periodicky se opakující „chrápací" tóny určité délky a podle nastaveného počtu „toleruje" několik „trilků" (počítá je). Po napočítání tolika chrápání, která určíme, dává více nebo méně intenzívní zvukový signál. Zároveň se zvukovým signálem může dávat i elektrizující impulsy (k tomu však musíme dát



Obr. 126. Zdroj

Obr. 127. Zesilovač – tvarovač

na ruku elektrody, spojené s přístrojem). Přístroj může být i v provedení „de luxe“, tyto varovné signály pak umí počítat a registrovat. V případě, že chrápač chce svou činnost popírat (nebo naopak, chce-li znát míru své noční činnosti), ráno má k dispozici číslo, kolikrát ho bylo třeba za noc umlčet.

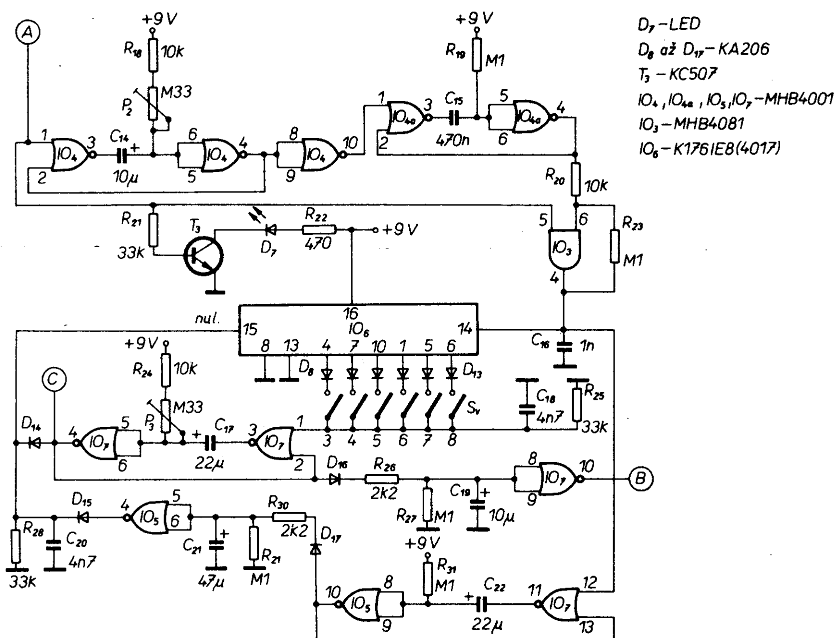
Na obr. 126 je zdroj. K napájení celého zařízení potřebujeme zdroj napětí asi 9 V, protože celé zařízení – kromě čítače – je osazeno obvody CMOS. Část zdroje (+5 V) s IO_1 slouží pouze k napájení čítače, a kdo čítač nemíní postavit, tuto část může vynechat. Chce-li někdo používat i elektrické impulsy, na obrázku v bodě, označeném BAT, připojí dvě ploché baterie (upraví i spínač S pro jejich odpojení) záporným pólem připojené na společnou zem. Je v zásadě možné místo baterie použít napětí ze zdroje 9 V i pro měnič, ale bezpečnostní předpisy to nedovolují. Celkový odbět proudu bez čítače je asi 20 až 30 mA, při zvukovém signálu – asi na jednu, dvě sekundy – se zvětší na asi 100 mA, s čítačem na asi 400 mA.

Na obr. 127 je schéma zesilovače a tvarovače. Můžeme použít mikrofon libovolný, krystalový, dynamický nebo nejlépe elektretový. Pro posledně jmenovaný typ je kladný pól napájecího napětí označen čárkovaně. Může se stát, že při citlivějších mikrofonech bude mít zesilovač sklon k rozkmitání, které je indikováno (obr. 128) stálým svitem diody D_7. V tomto případě musíme zmenšit zesílení. U funkčního vzorku byl použit prastarý krystalový mikrofon, který danému účelu plně vyhovuje a zesilovač se nerozkmital.

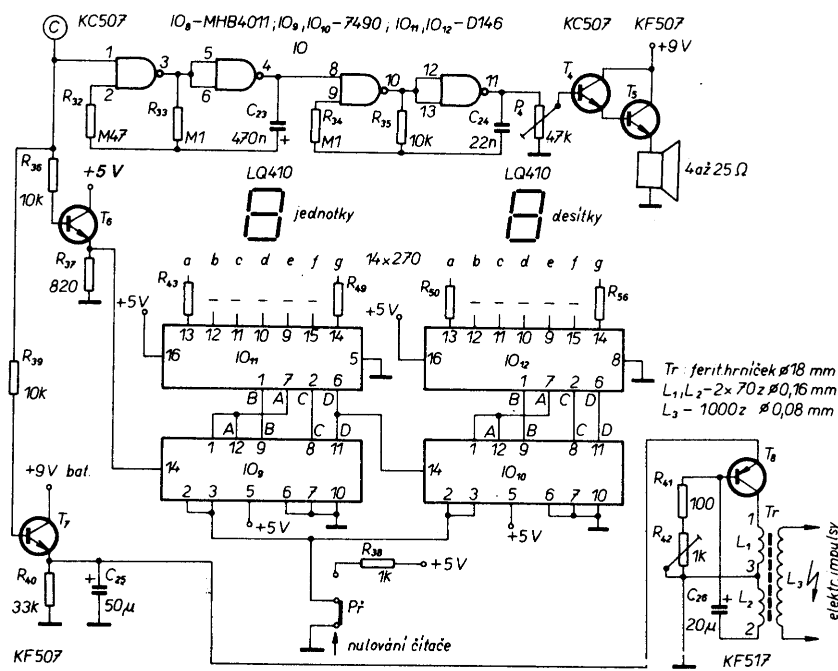
V zesilovači použijeme dvojitý OZ MA1458, ale vyhoví i 2× 741 (plošné spoje navrženy pro dvojitý OZ). Zesílení prvního OZ je nastaveno pevně, u druhého lze zesílení nastavit trimrem P_1. Na výstup zesilovače je připojeno hradlo z IO_3, které pracuje jako klopný obvod, tedy převádí signál do logické úrovně podle doby jeho trvání, takže jedno „chrápnutí“ nebo jiný zvuk dává na výstupu A po určitou dobu úroveň log. 1, což je signalizováno svitem D_7.

Signály z hradla IO_3 (AND) přicházejí na IO_4 (NOR) (obr. 128). Vlivem R_{18}, P_2 a C_{14} se zpožďují a monostabilní klopný obvod ze dvou hradel IO_{4a} dává jen velmi krátký signál (několik set milisekund). Kombinací IO_4 a IO_{4a} nejsou krátké impulsy propouštěny do čítače, do něhož se dostanou jen signály delšího trvání. Tím jsou vyloučeny náhodné zvuky, které nemají nic společného s chrápáním. Tyto zvuky nemohou ovlivnit indikaci.

Signál v logické formě ze zesilovače (A) přichází zároveň na hradlo IO_3, které ho propouští (odpovídá-li délka) na čítač, který je v klidovém stavu uzavřen signálem na vývodu *15*. Při přítomnosti správného (upraveného) signálu druhý monostabilní obvod (hradla IO_5 a IO_7) dává povel k uvolnění nulovacího vstupu IO_6 a začíná čítání (vstup *14*). Kondenzátor C_{21} zebezpečuje periodicitu čítání. Počet „tolerovaných“ zvuků nastavíme přepínačem od tří do osmi (sepnutím některého ze spínačů). Byl použit miniaturní kódovací přepínač se šesti polohami v úpravě DIL, ale můžeme použít libovolný druh při úpravě plošných spojů. Dosáhne-li na výstupu IO_6 počet zvuků nastaveného čísla, dvě hradla IO_7 přivedou úroveň log. 1 na výstup C a tento signál uvede v činnost multivibrátor (obr. 129) s IO_8. Zazní trilkující signál, jeho intenzitu můžeme nastavit trimrem P_4, jeho délku od nuly asi do čtyř sekund trimrem P_3. Se signálem se zároveň vynuluje IO_6 a čeká na další sérii chrápání. V okamžiku příchodu budicího signálu pro zvukový efekt je aktivován i generátor elektrických impulsů přes spínací tranzistor T_7, který připojí kladné napájecí napětí. Tranzistor T_8 začíná kmitat. Jeho pracovním odporem je L_1, na L_3 se indukuje napětí řádu několika desítek voltů, které přivádíme na dvě elektrody,



Obr. 128. Zpracování a čítání signálu



Obr. 129. Zvukový signál, čítač a generátor impulsů

Obr. 130. Základní deska s plošnými spoji

V 251

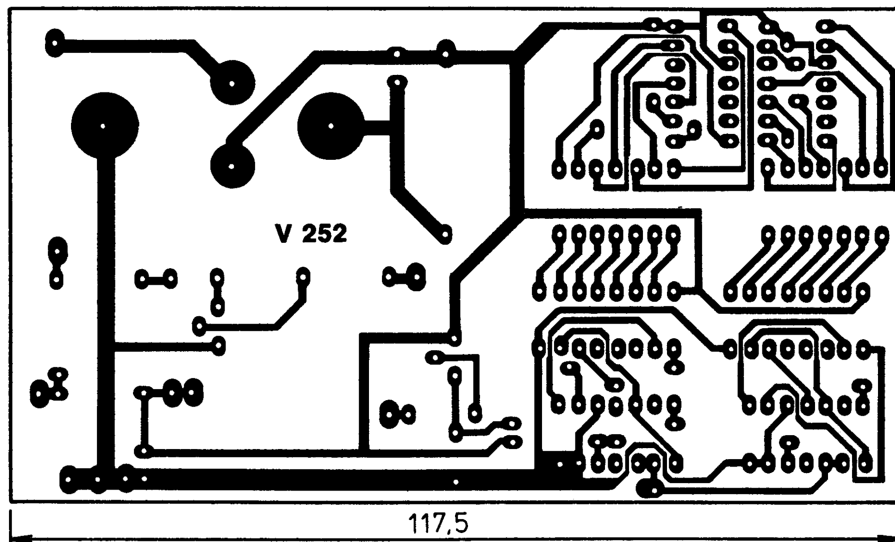
160

připevněné kupř. na předloktí. Efekt je stejný jako u bývalých hraček nebo lékařského přístroje na elektrizování. Generátor nastavíme trimrem R_{42}; v případě, že by elektrizování (které záleží na vlhkosti kůže) bylo příliš silné, paralelně s L_3 dáme trimr asi 100 kΩ. Trvání „upozorňovacího" elektrizujícího signálu je stejné jako zvukového. Záleží na používateli, použije-li zvukový, elektrický nebo oba druhy signálu.

„Nechrápej de luxe"

Přístroj „de luxe" umí počítat zvukové signály, tj. jak často nás přístroj vyrušil z chrápání a pak nemůžeme popírat (jak se stává), že jsme chrápali: ráno je na displeji číslo, oznamující naši noční činnost. Čítač umí počítat do 99 – a to myslím postačuje. Kdo nechce vidět toto svědectví, celý obvod od R_{36} podle obr. 129 může vynechat.

Čítač pracuje takto: každý zvukový signál vybudí tranzistor T_6 a na vstup čítače IO_9 se dostane kladný impuls, čítač i nadále zůstane v klidovém stavu. Při ukončení zvukového signálu týlem impulsu čítač počítá a na displeji se objeví číslo 1. Při každém dalším ukončení zvukového signálu na displeji pokračuje počítání až do 99, potom znovu naskočí 00. Tlačítkovým přepínačem Př displej můžeme kdykoli nastavit na nulu.

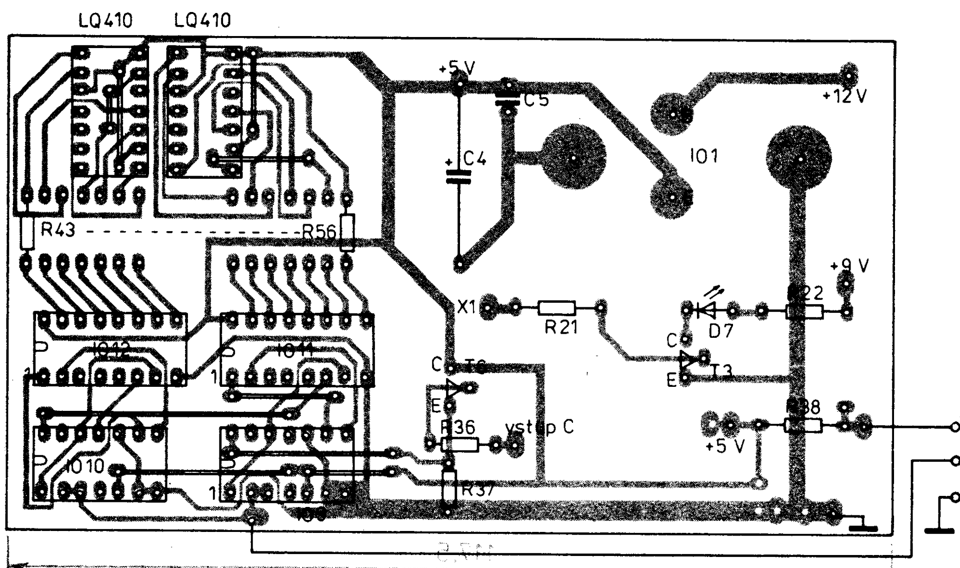


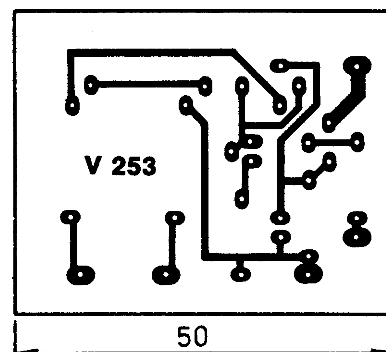
Obr. 131. Deska s plošnými spoji čítače

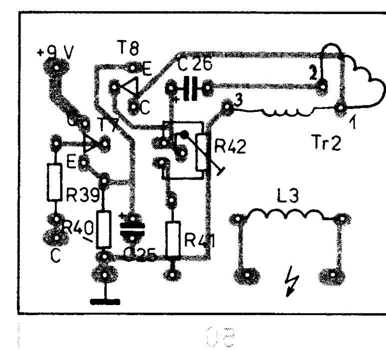
Protože u nás nejsou k dispozici obvody CMOS pro čítač, bylo jej třeba sestavit z obvodů TTL (IO_9 až IO_{12}). Napájecí napětí 5 V získáme zvlášť (IO_1) podle obr. 136. IO_1 byl montován na čelní panel s chladičem z hliníkového plechu. Řídicí signál úrovně CMOS upravíme pro TTL tranzistorem T_6.

Celé zařízení bylo rozmístěno na třech deskách s plošnými spoji. Na obr. 130 je základní deska, na které je v podstatě celý přístroj. Reproduktor je upevněn na levé straně desky, ve volném prostoru. Transformátor je také připevněn na desku. Deska s plošnými spoji čítače je na obr. 131, na téže desce je zdroj 5 V. Tato deska je připevněna kolmo k základní desce a tvoří čelní panel, na kterém je displej, signální dioda D_7, nulovací tlačítko a síťový spínač. Deska podle obr. 132 je generátor impulsů, je připevněna k transformátoru (nebo podle možností). Výstupní konektor pro elektrické impulsy je na zadní straně krabice.

Celé zařízení bylo umístěno v krabici







Obr. 132. Deska s plošnými spoji generátoru impulsů

z plastické hmoty, mikrofon je na víku krabice.

Doporučuji umístit obvody CMOS do objímky.

Nastavení

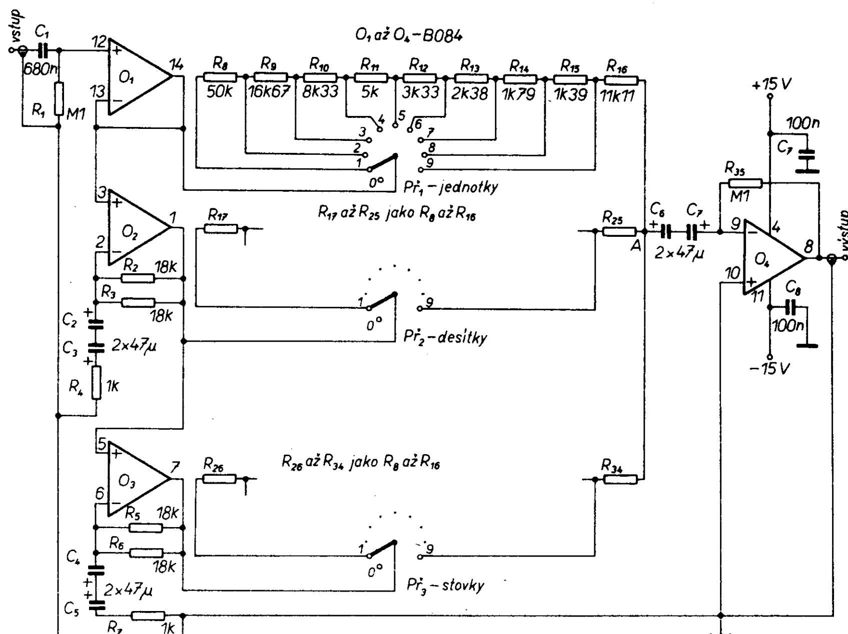
Trimrem P_1 nastavíme zesílení signálu tak, aby zesilovač nekmital. Kmitání indikuje D_7, která, kmitá-li zesilovač, svítí stále. Trimrem P_2 nastavíme minimální délku vstupního signálu, který se má čítat při chrápání, pohybuje se kolem 1 sekundy. Trimrem P_3 nastavíme žádoucí délku zvukového i elektrického signálu od zlomku sekundy do několika sekund a nakonec trimrem P_4 nastavíme hlasitost zvukového signálu.

Hodnoty součástek jsou uvedeny na schématech, nejsou kritické, pokud uvádím typ, je to vzhledem k místu na desce s plošnými spoji.

Rezistory: libovolné miniaturní, nejlépe TR 191. R_{17} a R_{23} nastojato, P_1, P_2, P_3 – TP 012, P_4 – TP 095.

Kondenzátory: C_1 – TE 674, C_2, C_4 – TE 984, C_{25} – TE 004; C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{17}, C_{19}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{26} – TE 121, TE 122, C_3, C_5, C_6 a C_{16} keramické typy.

Ostatní kondenzátory mohou být typů např. TC 215, TC 279, TGL 155.



Obr. 133. Dekadický zesilovač

Dekadický zesilovač

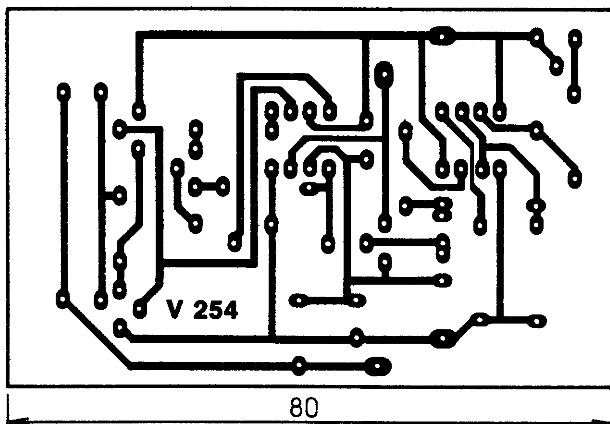
Dekadický zesilovač? – co to má být? Známe dekády odporové, kapacitní i indukční – a něco podobného má být i popsaný zesilovač. Při různých měřeních a zkoušeních se vyskytuje potřeba zesilovače s přesně definovaným zesílením – v tomto případě se může hodit toto jednoduché zařízení, u něhož pouhým přepnutím můžeme měnit zesílení vstupního signálu od nuly do 999. Přepínačem Př$_1$ nastavíme jednotky zesílení, Př$_2$ desítky a s Př$_3$ stovky, souhrnné nastavení tří přepínačů udává tedy konečné zesílení.

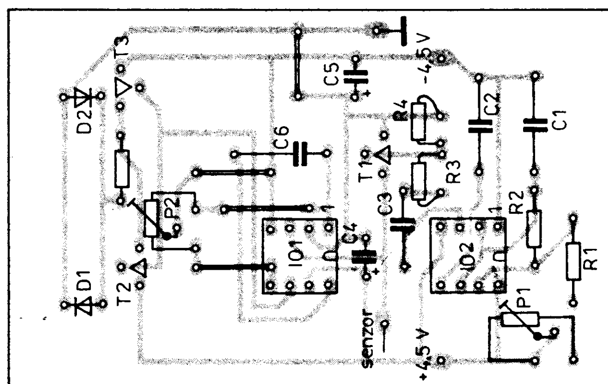
Zapojení je na obr. 133. První operační zesilovač O$_1$ je sledovačem signálu a zesiluje jednou. Připojená odporová „dekáda" s R$_8$ až R$_{16}$ podle nastavení Př$_1$ zeslabuje signál, který je na výstupním OZ. O$_4$ zesiluje desetkrát, tedy dostaneme zesílení od nuly do devíti. Obdobně jsou sestaveny řetězy s rezistory R$_{17}$ až R$_{25}$, popř. R$_{26}$ až R$_{34}$. Druhý i třetí operační zesilovač zesilují desetkrát a jsou zapojeny do kaskády – tím dosáhneme zesílení až 99 nebo až 999, podle nastavení přepínačů Př$_2$ a Př$_3$. Celý obvod tvoří tedy „směšovací" zesilovač. Rozsah kmitočtu přenášeného signálu je asi 10 Hz až 400 kHz.

V zapojení použijeme čtyři operační zesilovače v jednom pouzdře, které mají na vstupu tranzistory řízené polem. Pro tento účel se výborně hodí čtyřnásobný OZ z NDR, B084, který je k nám dovážen, jeho cena je Kčs 60,-. Poněkud větší potíže mohou být s rezistory R$_8$ až R$_{34}$, které nejsou v žádné normalizované řadě. Budeme je muset vybírat z řady E24, od jejichž hodnot se liší málo (postačí tolerance ±2 %). K výběru rezistorů musíme ovšem použít přesný ohmmetr.

Přepínače použijeme otočné „číslicové", tzv. palcové, tři vedle sebe. Jimi přímo nastavíme žádané zesílení od 000 do 999. Rezistory připájíme přímo na přepínače. Celý přístroj je na destičce s plošnými spoji s rozměry 50×80 mm, operační zesilovač dáme do objímky (obr. 134).

Potřebujeme zdroj 2× 15 V, výstupní napětí nastavíme na 14 až 14,5 V. Postačí nejjednodušší stabilizovaný zdroj podle obr. 133, odběr proudu je jen několik miliampérů. Vstup a výstup vyvedeme souosým konektorem.





Obr. 134. Deska s plošnými spoji zesilovače

Indikátor převahy kladných nebo záporných iontů v ovzduší

Před lety (AR 3/1979 a 6/1979) byly zveřejněny články o domácí výrobě ionizátoru vzduchu s vysvětlením blahodárného vlivu záporných iontů na člověka. Mezitím se u nás také začalo s prodejem ionizátorů pro domácnost.

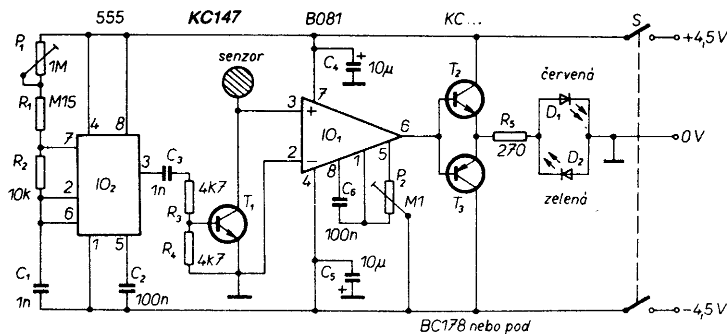
Vzduch kolem nás – více nebo méně znečištěný – obsahuje kladné a záporné ionty, jejichž poměr se neustále mění, neboť vznikají a znovu zanikají vlivem ultrafialového, rentgenového, kosmického, radioaktivního záření a stykem s pevnými a tekutými částicemi vzduchu i vzájemnou neutralizací. V závislosti na počasí, průmyslové exhalaci, klimatu, hustotě osídlení apod. je koncentrace iontů velmi různá. V čistém vzduchu je asi 2000 iontů na cm^3, ale v místnostech v závislosti na stavebním materiálu zdí a podlah, větrání, kouření může klesnout i pod 50 iontů na cm^3. V čistém vzduchu poměr kladných a záporných iontů je asi 1:1, ale vlivem nejrůznějších činitelů může dojít k výrazné převaze kladných nebo záporných iontů.

Je prokázáno, že koncentrace kladných nebo záporných iontů má vliv na náchylnost člověka k některým nemocem. Kupř. nadbytek kladných iontů má vliv na tvorbu určitého druhu hormonu, který zmenšuje schopnost koncentrace, působí spavost, únavu, bolení hlavy. Převaha záporných iontů má na člověka převážně příznivý vliv.

Tolik – víceméně laicky – o působení iontů, ale nás spíše bude zajímat technická stránka věci. Jedná se o přístroj, který je schopen indikovat, jaké ionty mají převahu v našem okolí – tím můžeme usilovat o zlepšení svého životního prostředí, neboť např. při nedostatku záporných iontů můžeme použít ionizátor vzduchu.

Jednoduchý přístroj na obr. 135 nemůže stanovit počet iontů, může však indikovat, které jsou v daném okamžiku v převaze, nebo jsou-li záporné a kladné ionty v rovnováze.

Jako čidlo slouží kovová destička velikosti asi 20×50 mm (na velikosti nezáleží). Může být z libovolného kovu, musí



Obr. 135. Indikátor

však být čistá a mít vodivý povrch, aby vzduch proudící kolem ní jí mohl odevzdat svůj náboj. Tedy na desce proti zemi bude kladný nebo záporný potenciál, příp. při vyrovnaném poměru iontů nulový potenciál. Abychom potenciál mohli indikovat, potřebujeme operační zesilovač s extrémně velkým vstupním odporem (OZ s FET na vstupu). Nemůžeme použít naše typy MAB a MAC, protože ty k provozu potřebují větší napětí (katalog neudává minimální provozní napětí), výborně se však hodí obvod z NDR, B081 (příp. LF3130), který se prodává i u nás, a má vstupní odpor řádu desítek GΩ.

Senzorová destička je připojena přímo na neinvertující vstup OZ, invertující vstup je na zemním potenciálu, tedy OZ pracuje s maximálním zesílením jako komparátor. Již nepatrná změna napětí překlopí jeho výstup z jednoho stavu do druhého a dvojice tranzistorů rozsvěcuje diody D_1 nebo D_2. Má-li na desce převahu kladné napětí (kladné ionty), na výstupu OZ bude také kladné napětí, které otevírá T_2 – bude svítit červená svítivá dioda. Při převaze záporných iontů bude svítit dioda zelená.

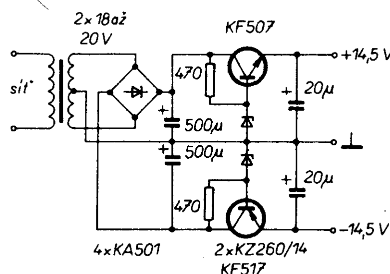
IO_1 je známý obvod 555, který slouží pro periodické vybíjení náboje senzorové destičky přes T_1. Kmitočet multivibrátoru je 2 až 10 Hz, nastavíme jej trimrem P_1.

Přístroj byl postaven na destičce s plošnými spoji o rozměrech 50×70 mm (obr. 136), která byla umístěna v krabičce z ocelového plechu. V horním víčku krabičky jsou dvě díry (pro D_1 a D_2, které indikují stav iontů). Kovová krabička (má být z feromagnetického kovu) byla připevněna dnem k větší krabičce z laminátu, ve které jsou dvě ploché baterie a spínač. Senzorová destička s izolačním podkladem z laminátu je připevněna na bok plechové krabičky, aby přívod od senzoru byl nejkratší. Kovovou krabici spojíme se zemí.

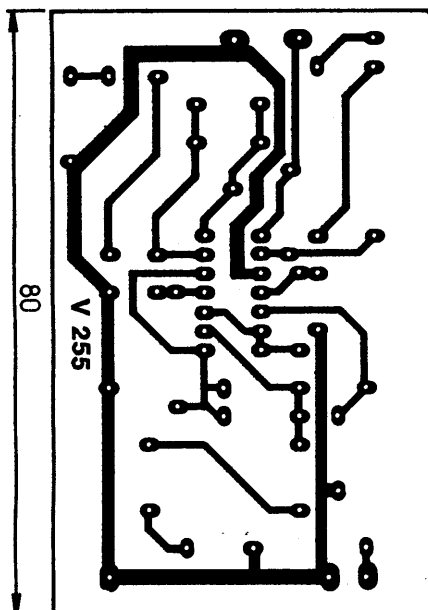
Nastavení je jednoduché. Zkratujeme senzor se zemí a trimrem P_2 nastavíme vstupní napětí OZ tak, aby jedna dioda právě zhasínala a druhá se právě rozsvěcovala. Tím je indikátor nastaven. Nastavení děláme venku, na čerstvém vzduchu, aby případné střídavé pole síťového napětí neovlivňovalo nastavení.

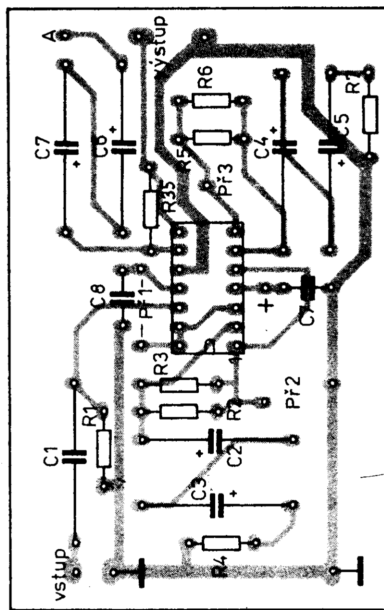
Vyrovnaný poměr iontů se indikuje stejným (asi polovičním) svitem obou diod. Při převaze kladných nebo záporných iontů jedna ze svítivých diod bude svítit silněji, příp. druhá zhasne. Zkusme měřit koncentraci iontů v různém prostředí, třeba v zakouřené místnosti po schůzi a uvidíme naše „zdravé životní prostředí".

Elektor 2/86

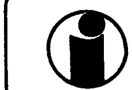


Obr. 136. Zdroj





Obr. 137. Deska s plošnými spoji indikátoru



INZERCE

Inzerci přijímá osobně a poštou Vydavatelství Naše vojsko, inzertní oddělení (inzerce AR), Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9, linka 294. Uzávěrka tohoto čísla byla dne 22. 1. 1987, do kdy jsme museli obdržet úhradu za inzerát. Neopomeňte uvést prodejní cenu, jinak inzerát neuveřejníme. Text inzerátu pište čitelně, aby se předešlo chybám vznikajícím z nečitelnosti předlohy.

PRODEJ

Kabel – tuner ZF, č. v. 29504 – 001 – 36 (1800). V. Kerhart, ČSLA 38, 405 01 Děčín I.

Různé radioamatérské součástky – trafa, reproduktory, elektronky, R, C, relé, elyty, osazené plošné spoje, náhr. díly atd., levně (9 ÷ 120). Šachový computer (2900), výběr gramof. desek (20 ÷ 180), reprobox 200 W pro kytaru nebo varhany (2400), různé fotopotřeby (10 ÷ 340). Náhradní bloky do sovětského BTV Elektronika C 401 (15 ÷ 450). Úplné seznamy proti známce. Výhodně odkoupím AR B 1/76, roč. AR, síť. trafo pro magnetofon B4, IO 808XT do telefonu. M. Lorek, Kárníkova 556, 500 11 Hradec Králové.

MC1312P, MC1314P, MC1315P pro SQ kvadro + pl. spoj (200). R. Kašperlík, Gerasimonova 18, 704 00 Ostrava 3.

Oscilo AR 6/86 – osazené desky, obr. D67-132, trafo, přepínače – kromě konektorů FRB A BNC (1800). V. Javůrek, Okružní 6, 315 03 Plzeň.

Technics Tape deck M263, 3 hlavy SX, 18 – 20 000 Hz, manuál mag. ovládání hlavy (9000), zesilovač SU – V3, 2× 45 W sin. 20 – 20 000 Hz (8500), gramo SL – Q303, mag. vložka Shure, V 15 typ III + 2krát náhr. hroty (10 000), repro Akai 3 pásmové (3000). Karel Vrchlabský, Leninova 41, 602 00 Brno.

4 × 1kB Eprom s operačním systémem Mikos V4.OF pro Sapi (400). L. Věžník, Mánesova 17, 612 00 Brno.

AY-3-8500 (300), pl. spoj S71 tuner z AR 11/84 originál (50), el. vláčik TT 120 mm a rôzne dielce. F. Kovalič, Korabinského 15, 080 06 Prešov-Ľubotice.

Kompletní výpis ROM pro ZX Spectrum s podrobným českým komentářem (100). R. Měšťan, Mánesova 12, 678 01 Blansko.

IO, D, T, R, C a iný mat. (50 % MC), cuprex. jednostr. (dm² 5), obojstr. (dm² 8), zoznam proti známke. Kúpim literatúru, príslušenstvo, programy k ZX Spectrum +, prípadne vymením, AR A, B 80 ÷ 86. L. Baťušík, 29. aug. 44/6, 972 51 Handlová.

Kmitacie systémy reproduktorov ARV 36 (à 60) 16 W sínus. Martin Juršták, Sever 790/39, 957 Bánovce n. B.

ZX Spectrum + a tranzistory BFR90 a 95 (65). Nevyužité. V. Cirhan, Příčná 384, 470 01 Česká Lípa.

Spectrum plus joysticky interface, BFR90, 91 (65). Karel Houška, Střelnice 2291, 470 01 Česká Lípa.

BF963 (90), BFR90 (90), SO42P (120), R223D (20), MA3005 (40), MH7442 (20), MH7493A (20). V. Šugár, Gaštanová 39, 010 00 Žilina.

Nové IO Z80A CPU, CTC (200, 250), 2716 (300), 4116 (150), AY-5-8116 (500), AY-3-1015 (400), CA3046 (80), SN-7473 (25), LM324, 339 (50, 25), krystal. oscil. 1 MHz (500). J. Pospíšil, Jiráskova 270, 417 52 Hostomice.

Vázané kompletní ročníky časopisů AR A 67 až 86 (à 85), AR B 76 až 86 (à 45), RK 73 až 75 (à 30). F. Machač, Švermova 5, 784 01 Litovel.

Pár repro Videoton DC4014A, 8 Ω, 90/120 W, 40 – 20 000 Hz (4800). Koupím IO, AY-3-8610 D147C uveďte cenu. V. Hybeš, Šubertovo nám. 54, 518 01 Dobruška.

Centrum T 85, jednojehličková tiskárna (2000). J. Masař, Slévačská 744, 194 00 Praha 9.

ZX Spectrum 48 kB s českým manuálem a větší množství prog. a her (7500). J. Masař, Slévačská 744, 194 00 Praha 9.

Zosilňovače i pre dialkový príjem VKV - OIRT, CCIR s Mosfe (180) III. TV s Mosfe (180), IV.-V. TV s BFT66 (330), 40÷860 MHz s BFR90 a 91 (390), BF961 (65), BF981 (80), BFR90, 91 (75), BFW16A (65), BFR96 (75), CIC 5107 (400), ICL7106 (600), TDA 1046 (150), FM konvertor Sencor (590), Aiwa AM, FM Receiver AX-7550 (5900). I. Omámik, Odborárska 144, 020 01 Púchov.

Digitrony Z570M, Z573M pájené (à 10) a koupím VQE24. F. Souchop, Krkoškova 33, 613 00 Brno.

Paměť RAM 16kB orig. Sinclair pro ZX 81 (1500). L. Král, B. Němcové 652, 271 01 Nové Strašecí.

BFR90, 91 (82, 90), BFR61 (75). Z. Zeleňák, 9. mája 41, 942 01 Šurany.

BM310 nf mV metr (1100), kdo zapůjčí dokumentaci k vf gen. BM261. J. Oršulík, 735 62 Mistřovice 42.

Tuner VKV + SV stereo před dok. (600), osc. Orion EMG1541 v chodu s obr. ∅ 12 cm vhodný na přest. (400), dvojitý ruč. ind. (100), 2 páry výk. tr. Darling. TEI903/902 (160), řadiče 2× 26 poloh (à 95), MP40 (100), mikroskop. (à 5), KS500, KY717, 4× KB109G, 3× KB105G (à 3, 10, 20). V. Kulštejn, 517 02 Kvasiny 15.

Nepoužívanú 12QR50S s armatúrou (100), hrajúci nedokončený tuner s budíkom a digitálnou stupnicou (3000) a väčšie množstvo polovodičov a literatúry. Končím. Informácie proti známke. S. Džuban, Žalmanova 12, 841 05 Bratislava.

Tiskárnu pro ZX Spectrum, konektor WK 46580, MHB8255A, MH3212, SAB3011, SAB3022, TDB1033. J. Surovec, Sobědružská 173, 417 12 Proboštov.

Osciloskop H3015 nebo podobný. Popis, cena. Josef Haba, 468 46 Plavy 86.

Varhanovou klaviaturu 5 - 3 oktávy, 60 žilový, ohebný kabel (licny). K. Siegler, 517 31 Belehošť 48, tel. 931 33.

Repro ARZ 368, 8 Ω, 3 W. A. Petružala, 798 13 Vrbátky č. 244.

16LK1B a BFT66. F. Rychlý, 338 13 Podmokly 81.

LED ploché, červené, 10 ks. J. Moravec, Hlavní 23, 747 11 Kozmice.

Síťový transformátor 1× (jádro C typu 20004 pro příkon 60 W se 2 cívkami), přepínače Isostat se 2 a 4 přepínacími kontakty. M. Frendl, Jeremenkova 2350, 530 02 Pardubice.

KOUPĚ

ZX Interface 1, mikrodrive a cartridge. Uveďte cenu. J. Britka, Lučenecká 69, 990 01 Veľký Krtíš.

Pro ZX Spectrum 2 ks přímých konektorů, obvody LS, výpis ROM s komentářem, tiskárnu i mech. pošk., programy + mgf. hlava pro microdrive, různé programy s popisem i hry, schémata na doplňky a úpravy. J. Kopal, ul. ČSSP 17, 466 01 Jablonec nad Nisou.

Konektor WK46580, MHB8255A. Zdeněk Kučera, Jiráskova 325 13, 418 01 Bílina.

CD4511, NE542 (LM387) po 1 kuse. B. Beneš, 25. února 465/12, 408 01 Rumburk.

Barevnou obraz. 32LKIC nebo prodám Šilelis C401 (1000). J. Bělohlávek, Krásné 33, 539 53 H. Bradlo.

Quartz 1 MHz, prodám IV - 6 (80), KT809A (170), KT926A (75). P. Urbánec, Šestajovická 488, 194 00 Praha 9.

Informace o technic. a program. vybavení Sharp PC1500, potřebné k jeho připojení na růz. vněj. zaříz. Inform. o formě výst. dat u PC1211. Stačí zapůjčit. R. Kos, Krátká 539, 270 51 Lužná.

Eprom 2716, 2708, IO 7406, 74153, 74157, 75150, 75154, 74125, 7486, 74132. V. Tóth, K. Světlé 16, 736 01 Havířov-Bludovice, tel. 315 49.

ZX Spectrum + nebo 48 kB nový, LED obdélníkové. J. Švejda, Vsadsko 11, 750 02 Přerov.

Dálnopis stránkový, jakýkoli, nejlépe T 100, nabídněte. C. Ptáčník, Gottwaldova 660, 561 69 Králíky.

Všetko okolo ZX81. F. Krivda, Fučíkova 269/22, 029 01 Námestovo.

Sinclair ZX Spectrum Plus 48 kB, základní vybavení, programy. Ing. Jiří Čermák, Pod Vidoulí 537, 158 00 Praha.

RŮZNÉ

Hledám majitele Sharp MZ-800. Výměna programů a zkušeností. V. Černý, Na pískovně 648, 460 14 Liberec 14.

Hledám zájemce o Sharp MZ700/800. Koupím, vyměním programy, hardware, zkušenosti. Z. Michálek, Bezručova 21, 750 00 Přerov.

Shání, koupí, vymění - ladicí kond 3× 500 pF, IO SAA1058 nebo SAA1059, SAA1070, LM1035. T. Hekl, Jaselská 893/8, 363 01 Ostrov.

VÝMĚNA

Dám nové ARV 161 za nové 168. M. Mokren, Moldavská 3, 040 11 Košice.